# 涂装技术1000问

潘继民 主编

问题来源于实践 突出实用性 ★ 解答服务于实践 强调针对性

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



VISIT…

LANZAROTE

Caliente.com

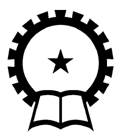
# 涂装技术1000问


**主　编**　潘继民

**副主编**　李　响　陈慧敏

**参　编**　侯晓丽　刘　峰　王志刚　李　菁　蒋佳国　王　宁
张素红　李怀斌　高见峰　高　玉　王乐军　李　莎
李　威　孙华为　赵　丹　严咏志　陈　永　夏　静

**主　审**　张金凤


机 械 工 业 出 版 社

本书以问答的形式，全面系统地介绍了涂装技术的相关知识。内容包括涂装技术基础知识、常用涂料、涂装前表面预处理、涂装方法、涂装工艺、涂装设备、涂膜的干燥、涂料及涂膜性能的质量检测、涂装中常见涂料和涂膜弊病及防止措施、涂装的污染治理及安全技术、涂装作业环境保护、涂装车间布置，共计1000个问题。本书语言通俗易懂，叙述简明扼要，图表形象直观，数据准确翔实，查阅快捷方便，侧重应用技术和解决工业生产中经常遇到的实际问题，针对性和实用性强。

本书适合于从事涂装技术的工程技术人员和涂装操作者阅读，也可供各类培训院校相关专业师生参考。

**图书在版编目（CIP）数据**

涂装技术1000问/潘继民主编. —北京：机械工业出版社，2013.1

ISBN 978-7-111-40868-0

Ⅰ. ①涂…　Ⅱ. ①潘…　Ⅲ. ①涂漆-问题解答　Ⅳ. ①TQ639-44

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第301138号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：陈保华　责任编辑：陈保华　舒　雯
版式设计：赵颖喆　责任校对：陈秀丽　李锦莉
责任印制：张　楠
北京京丰印刷厂印刷
2013年2月第1版·第1次印刷
169mm×239mm·34.75印张·794千字
0 001—3 000册
标准书号：ISBN 978-7-111-40868-0
定价：79.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203
策划编辑（010）88379734
网络服务
教材网：http：//www. cmpedu. com
机工官网：http：//www. cmpbook. com
机工官博：http：//weibo. com/cmp1952
**封面无防伪标均为盗版**

# 前　　言

涂装是金属表面处理的重要组成部分，随着科学技术的进步与发展，涂装已形成一个专门的研究领域并构成了庞大的产业，特别是机械制造、仪器仪表、交通工具、电子信息、航天航空等领域对涂装技术提出了更多更高的要求。涂装大幅度地增加了产品的附加值，在我国国民经济的发展中起着十分重要的作用。

目前，涂装工业迅速发展，国家对涂装企业的准入门槛越来越高。为了满足涂装工作者对实用涂装技术的需要和提高他们解决实际问题的能力，编者广泛征求了广大涂装工作者的意见，结合多年的教学、科研和工作实践，针对涂装生产中经常出现的问题和遇到的难题，在编写《涂装工入门必读》和《涂装工技能提高必读》的基础上，精心编写了这本《涂装技术1000问》。本书语言通俗易懂，叙述简明扼要，图表形象直观，数据准确翔实，查阅快捷方便，侧重应用技术和解决工业生产中经常遇到的实际问题，针对性和实用性强。本书既具有手册一样的查阅功能，又可以丰富解决工业生产中实际技术难题的知识。

本书以问答的形式，全面系统地介绍了涂装技术的相关知识。全书共12章，包括涂装技术基础知识、常用涂料、涂装前表面预处理、涂装方法、涂装工艺、涂装设备、涂膜的干燥、涂料及涂膜性能的质量检测、涂装中常见涂料和涂膜弊病及防止措施、涂装的污染治理及安全技术、涂装作业环境保护、涂装车间布置。本书适合于从事涂装技术的工程技术人员和涂装操作者阅读，也可供各类培训院校相关专业师生参考。

本书由郑州大学的潘继民任主编，李响、陈慧敏任副主编。参加本书编写工作的有：李响（第1章），陈慧敏（第2章），潘继民（第3、4、5章），侯晓丽（第6章），王志刚、夏静（第7章），李菁、刘峰（第8章），王宁、赵丹、孙华为（第9章），蒋佳国、张素红、李怀武（第10章），高见峰、高玉、王乐军（第11章），李莎、李威、严咏志、陈永（第12章）。张金凤老师对全书进行了详细审阅。

在本书编写过程中，参考了国内外同行的大量文献资料，谨向有关人员表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，错误和纰漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编　者

# 目　　录

前言
第 1 章　涂装技术基础知识 …… 1
1. 1　涂料和涂装概论 …… 1
1. 1. 1　什么是涂料和涂装? …… 1
1. 1. 2　涂装的目的是什么? …… 1
1. 1. 3　涂料的发展过程是怎样的? …… 2
1. 1. 4　涂装技术的发展过程是怎样的? …… 2
1. 2　涂装的基本要素、分类及特点 …… 3
1. 2. 1　涂装的基本要素是什么? …… 3
1. 2. 2　涂装是怎样分类的? …… 4
1. 2. 3　各种涂装方法有何特点? …… 4
1. 2. 4　常用的喷涂方法各有什么特点? …… 4
1. 3　涂装的环境要求 …… 6
1. 3. 1　适宜的涂装环境对采光和照明有什么要求? …… 6
1. 3. 2　适宜的涂装环境对温度和湿度有何要求? …… 6
1. 3. 3　适宜的涂装环境对空气清洁度有什么要求? …… 7
1. 3. 4　适宜的涂装环境对通风换气有什么要求? …… 7
1. 3. 5　适宜的涂装环境对防火防爆有什么要求? …… 7
1. 3. 6　适宜的涂装环境对涂装车间地面有什么要求? …… 8
第 2 章　常用涂料 …… 9
2. 1　涂料的组成和作用 …… 9
2. 1. 1　涂料由哪些组分组成? …… 9
2. 1. 2　涂料组成有何特性? …… 9
2. 1. 3　涂料成膜物质有哪些? …… 9
2. 1. 4　着色颜料有哪些? …… 10
2. 1. 5　常用体质颜料有哪些? …… 10
2. 1. 6　防锈颜料主要有哪些? …… 11
2. 2　涂料的分类和命名 …… 11
2. 2. 1　涂料的分类方法有哪些? …… 11
2. 2. 2　我国涂料产品的命名原则是什么? …… 12
2. 2. 3　涂料的型号有何含义? …… 13
2. 3　涂料品种简介 …… 15
2. 3. 1　常用涂料有哪些品种? …… 15
2. 3. 2　常用涂料有哪些特点? …… 16
2. 3. 3　常用涂料的应用范围有哪些? …… 18

2.3.4　天然树脂涂料的分类有哪些？ …… 19
2.3.5　酚醛树脂涂料的分类及其性质是什么？ …… 20
2.3.6　醇酸树脂的品种和性质是什么？ …… 20
2.3.7　醇酸树脂的性能指标是什么？ …… 20
2.3.8　与氨基树脂配合使用的醇酸树脂的性能和用途是什么？ …… 22
2.3.9　氨基树脂的分类及主要性能指标是什么？ …… 22
2.3.10　硝基纤维素涂料的性能指标是什么？ …… 24
2.3.11　硝基纤维素的施工注意事项有哪些？ …… 24
2.3.12　过氯乙烯涂料的性能指标有哪些？ …… 25
2.3.13　过氯乙烯涂料施工的注意事项有哪些？ …… 25
2.3.14　乙烯树脂涂料的分类及其性能是什么？ …… 25
2.3.15　热固性丙烯酸树脂的官能团和交联剂有哪些？ …… 27
2.3.16　丙烯酸树脂涂料的性质和用途有哪些？ …… 27
2.3.17　不饱和聚酯树脂固化时间与硬度的关系是什么？ …… 27
2.3.18　环氧酯涂料的特点及其性能指标是什么？ …… 28
2.3.19　环氧酯涂料的施工注意事项有哪些？ …… 28
2.3.20　聚氨酯涂料的分类及用途有哪些？ …… 29
2.3.21　聚氨酯涂料施工时的注意事项是什么？ …… 29
2.3.22　有机硅及其改性涂料的性能指标及施工注意事项是什么？ …… 30
2.3.23　橡胶涂料的施工注意事项有哪些？ …… 30
2.3.24　特种涂料的分类有哪些？ …… 30
2.3.25　润滑涂料的作用机理是什么？ …… 30
2.3.26　润滑涂料的组成和种类是什么？ …… 31
2.3.27　示温涂料的优势和影响变色的因素分别是什么？ …… 31
2.3.28　不可逆示温涂料有何性能？ …… 32
2.3.29　伪装涂料有哪些类型？ …… 33
2.3.30　导电和导静电涂料有何特性？ …… 33
2.3.31　防污涂料的作用和类型有哪些？ …… 33
2.3.32　防污涂料的性能要求及用途是什么？ …… 34
2.3.33　阻燃涂料的种类有哪些？ …… 35
2.3.34　阻燃涂料的阻燃作用是怎么实现的？ …… 36
2.3.35　隔热保温涂料的组成和性能分别是什么？ …… 36
2.3.36　发光涂料的组成和特性分别是什么？ …… 37
2.3.37　新型涂料产品有哪些？ …… 37
2.3.38　光固化涂料的种类和优缺点分别是什么？ …… 38
2.3.39　光固化涂料由什么组成？ …… 38
2.3.40　光固化涂料有哪些应用？ …… 38
2.3.41　粉末涂料的分类有哪些？ …… 39
2.3.42　粉末涂料的特点有哪些？ …… 40
2.3.43　新型涂料中水溶性涂料的分类有哪些？ …… 40

2.3.44　什么是涂料用树脂的水性化？ …… 40
2.3.45　不同类型水性涂料的性能有何不同？ …… 40
2.3.46　水性涂料有哪些特点？ …… 41
2.3.47　水性涂料存在哪些问题？ …… 41
2.3.48　高固体分涂料有哪些特点？ …… 41
2.4　涂料溶剂和助剂 …… 42
2.4.1　涂料溶剂的组成和作用分别是什么？ …… 42
2.4.2　涂料溶剂的分类有哪些？ …… 42
2.4.3　混合溶剂的配置原则是什么？ …… 43
2.4.4　施涂常用溶剂时的注意事项有哪些？ …… 43
2.4.5　怎样选择涂料用溶剂？ …… 44
2.4.6　涂料助剂的分类及其各自特性是什么？ …… 45
2.4.7　消泡剂的主要品种有哪些？ …… 48
2.5　涂料的选用 …… 50
2.5.1　选定涂料的影响因素是什么？ …… 50
2.5.2　选用涂料的原则是什么？ …… 51
2.5.3　涂料的选用方法是什么？ …… 51
2.5.4　涂料配套性设计的含义及主要内容是什么？ …… 54
2.5.5　各涂层之间涂料配套设计的原则是什么？ …… 55
2.5.6　涂料配套设计时有何方法可以增加层间附着力？ …… 56
2.5.7　涂料与施工条件的适应性是什么？ …… 56
2.5.8　如何估算涂料的用量？ …… 57
2.5.9　涂料兑稀的步骤是什么？ …… 58
2.6　涂料的干燥 …… 58
2.6.1　涂料和涂膜的干燥方式有哪些？ …… 58
2.6.2　油脂涂料的干燥机制是什么？ …… 60
2.6.3　各类涂料的表干和实干时间分别是多长？ …… 60
2.6.4　涂装的最佳时间间隔是多长？ …… 60
2.7　涂料配色 …… 61
2.7.1　减色法混合后的结果是什么？ …… 61
2.7.2　什么是涂料配色图？ …… 61
2.7.3　深色彩油漆的配比是多少？ …… 61
2.7.4　中色彩油漆的配比是多少？ …… 62
2.7.5　浅色彩油漆的配比是多少？ …… 62
2.7.6　淡色彩油漆的配比是多少？ …… 62
第3章　涂装前表面预处理 …… 63
3.1　表面预处理基础知识 …… 63
3.1.1　表面预处理包括哪些内容？ …… 63
3.1.2　为什么要进行表面预处理？ …… 63
3.1.3　涂装前表面脱脂的方法及其特点？ …… 64

3.1.4　涂装前表面除锈的方法及其特点？ …… 64
3.1.5　涂装前表面化学覆膜的方法及其特点？ …… 64
3.1.6　涂装前塑料表面处理的方法及其特点？ …… 65
3.1.7　各种涂装表面预处理方法有何优缺点？ …… 65
3.1.8　怎样选择涂装前表面预处理方法？ …… 65
3.1.9　涂装前表面预处理方法与材质的配套如何选择？ …… 66
3.1.10　钢铁工件表面的主要污物是什么？ …… 66
3.2　除锈 …… 67
3.2.1　为什么要进行除锈？ …… 67
3.2.2　除锈方法有哪些？ …… 67
3.2.3　各种除锈方法分别有什么特性？ …… 68
3.2.4　手工除锈的工艺流程是什么？ …… 69
3.2.5　手工除锈有哪些注意事项？ …… 69
3.2.6　手工除锈时可借助的小型机械有哪些？ …… 70
3.2.7　借助小型机械除锈时有哪些注意事项？ …… 71
3.2.8　喷砂（丸）除锈的工作原理是什么？ …… 71
3.2.9　怎样利用喷丸（砂）除锈系统进行除锈？ …… 72
3.2.10　喷砂（丸）除锈系统设备有哪些类型？ …… 73
3.2.11　根据丸（砂）的输送方式的不同，喷丸（砂）设备有哪些类型？ …… 73
3.2.12　喷丸（砂）除锈使用的磨料如何分类？ …… 73
3.2.13　怎样选择喷丸除锈的磨料？ …… 73
3.2.14　检查压缩空气源的规程及标准是什么？ …… 75
3.2.15　自动循环回收式喷砂设备的组成及原理分别是什么？ …… 75
3.2.16　喷丸操作的注意事项有哪些？ …… 75
3.2.17　怎样进行喷丸设备的维护保养？ …… 76
3.2.18　抛丸除锈的工作原理是什么？ …… 76
3.2.19　抛丸（砂）除锈具有哪些优点和缺点？ …… 76
3.2.20　什么是激光除锈（激光清洗）？ …… 77
3.2.21　激光清洗（激光除锈）有何优点？ …… 77
3.2.22　怎样控制机械除锈的质量？ …… 77
3.2.23　化学除锈（酸洗）的原理是什么？ …… 79
3.2.24　化学除锈（酸洗）常用的酸有哪些？ …… 79
3.2.25　化学除锈（酸洗）常用缓蚀剂有哪些？ …… 79
3.2.26　化学除锈（酸洗）常用润湿剂有哪些？ …… 80
3.2.27　化学除锈（酸洗）对设备有何要求？ …… 81
3.2.28　化学除锈（酸洗）操作有哪些注意事项？ …… 81
3.3　脱脂 …… 82
3.3.1　脱脂的原理及常用方法分别是什么？ …… 82
3.3.2　脱脂的目的是什么？ …… 82
3.3.3　钢铁材料表面脱脂的基本方法有哪些？ …… 82

3.3.4 机械法脱脂有哪些方法? …… 83
3.3.5 有机溶剂脱脂时常用的有机清洗溶剂有哪些? …… 83
3.3.6 有机溶剂脱脂时的注意事项有哪些? …… 84
3.3.7 化学脱脂的原理及分类是什么? …… 84
3.3.8 碱性脱脂时常用的清洗用碱有哪些? …… 84
3.3.9 碱液脱脂时的常用方法有哪些? …… 85
3.3.10 碱液脱脂时影响脱脂效果的工艺因素有哪些? …… 86
3.3.11 常用酸性脱脂的工艺是什么? …… 86
3.3.12 乳化脱脂时溶剂乳化清洗方法有哪些? …… 87
3.3.13 表面活性剂的 *HLB* 值是什么? …… 87
3.3.14 常用金属清洗剂有哪些? …… 88
3.3.15 什么是电化学脱脂? …… 89
3.3.16 电化学脱脂中脱脂液的工艺条件和浓度是多少? …… 89
3.3.17 滚筒脱脂的工作原理是什么? …… 90
3.3.18 超声波脱脂的工作原理是什么? …… 90
3.3.19 用于脱脂的油水分离装置有哪些? …… 90
3.3.20 脱脂处理中碱液的作用是什么? …… 91
3.3.21 脱脂过程中常见问题及解决方法有哪些? …… 91
3.3.22 怎样进行钢材表面油脂清洁度的评定? …… 93
3.4 磷化 …… 93
3.4.1 什么是磷化处理? …… 93
3.4.2 磷化处理有什么作用? …… 94
3.4.3 磷化膜怎样进行分类及其各自特征是什么? …… 94
3.4.4 磷化膜的分类、缩写符号及有关特征是什么? …… 95
3.4.5 磷化膜具有怎样的特性? …… 95
3.4.6 磷化处理的基本原理是什么? …… 95
3.4.7 磷化液的组成是什么? …… 96
3.4.8 常用磷化液配方及工作条件是什么? …… 96
3.4.9 新型磷化溶液的发展趋势是什么? …… 97
3.4.10 磷化工艺流程是什么? …… 98
3.4.11 磷化处理有何要求? …… 98
3.4.12 磷化操作方法有哪些? …… 98
3.4.13 浸渍磷化有何特点? …… 99
3.4.14 喷淋磷化有何特点? …… 99
3.4.15 涂刷磷化有何特点? …… 100
3.4.16 喷浸结合的磷化有何特点? …… 100
3.4.17 怎样检验磷化处理的质量? …… 100
3.4.18 常见的磷化质量问题及解决方法是什么? …… 101
3.4.19 静电喷粉前磷化工艺是什么? …… 103
3.4.20 混合散件磷化工艺是什么? …… 104

3.4.21　电泳前磷化工艺是什么？ …… 104
3.4.22　什么是氧化？ …… 105
3.4.23　钢铁材料的氧化工艺是什么？ …… 105
3.4.24　钢铁材料表面氧化膜常见缺陷及处理方法是什么？ …… 106
3.4.25　什么是铜及铜合金的氧化？ …… 106
3.4.26　什么是铝及铝合金的氧化？ …… 107
3.4.27　铝及铝合金化学氧化工艺是什么？ …… 107
3.4.28　铝及铝合金电化学氧化工艺是什么？ …… 108
3.4.29　铝及铝合金氧化膜的常见缺陷及处理方法是什么？ …… 109
3.4.30　什么是钝化？ …… 109
3.4.31　钢铁磷化膜的钝化有何特点？ …… 110
3.4.32　铜及铜合金的钝化有何特点？ …… 110
3.4.33　铝、镁及其合金的钝化有何特点？ …… 111
**3.5　除漆** …… 111
3.5.1　如何用砂纸打磨去旧漆？ …… 111
3.5.2　如何用手工工具去旧漆？ …… 112
3.5.3　如何用碱液去旧漆？ …… 112
3.5.4　如何用脱漆剂去旧漆？ …… 113
3.5.5　脱漆剂作用的原理是什么？ …… 114
3.5.6　脱漆剂如何分类？ …… 114
3.5.7　怎样用加热法去旧漆？ …… 114
**3.6　非铁金属材料涂装前表面预处理** …… 114
3.6.1　如何进行非铁金属表面脱脂？ …… 114
3.6.2　如何进行非金属表面化学除锈？ …… 115
3.6.3　铝及其合金表面预处理包括哪些内容？ …… 116
3.6.4　镁合金表面预处理包括哪些内容？ …… 116
3.6.5　镁合金表面脱脂的方法有哪些？ …… 117
3.6.6　镁合金表面化学转化处理方法有哪些？ …… 118
3.6.7　锌及锌合金表面预处理有哪些内容？ …… 119
3.6.8　锌的钝化处理方法有哪些？ …… 120
3.6.9　铜及铜合金的表面预处理包括哪些内容？ …… 121
3.6.10　铜及铜合金化学氧化方法有哪些？ …… 122
3.6.11　怎样定量评定表面可视清洁度？ …… 123
3.6.12　怎样评定二次除锈表面的可视清洁度？ …… 123
3.6.13　怎样评定钢材的表面粗糙度？ …… 123
3.6.14　如何划分表面粗糙度等级？ …… 124
3.6.15　表面粗糙度的评定步骤是什么？ …… 124
3.6.16　怎样进行钢材表面可溶性盐分和灰尘的评定？ …… 125
**3.7　非金属材料涂装前表面预处理** …… 125
3.7.1　工业用木材怎样分类？ …… 125

3.7.2 木材表面预处理需要解决的问题是什么? …… 125
3.7.3 木材的表面预处理工艺是什么? …… 126
3.7.4 木材漂白时常用漂白剂及使用方法是什么? …… 127
3.7.5 底材着色时常用着色剂的种类和特征有哪些? …… 128
3.7.6 工业上常用的塑料如何分类? …… 128
3.7.7 工业上的常用塑料及其特性是什么? …… 129
3.7.8 塑料制品进行表面预处理目的是什么? …… 130
3.7.9 塑料制品进行表面预处理的内容有哪些? …… 130
3.7.10 橡胶材料如何分类? …… 132
3.7.11 橡胶材料进行表面预处理有哪些内容? …… 132
3.7.12 橡胶材料表面预处理方法有哪些? …… 133
3.7.13 墙体材料的表面预处理内容有哪些? …… 134
3.8 典型涂装预处理工艺 …… 135
3.8.1 汽车制动泵涂装预处理工艺是什么? …… 135
3.8.2 冰箱箱体涂装预处理工艺是什么? …… 135
3.8.3 打气筒筒体涂装预处理工艺是什么? …… 136
第4章 涂装方法 …… 137
4.1 刷涂及滚刷涂 …… 137
4.1.1 什么是刷涂? …… 137
4.1.2 刷涂的一般操作步骤是什么? …… 137
4.1.3 如何刷涂快干涂料? …… 137
4.1.4 刷涂的注意事项是什么? …… 138
4.1.5 刷涂用工具的种类有哪些? …… 138
4.1.6 常用漆刷的构造及特点是什么? …… 139
4.1.7 常用涂料的刷涂粘度是多少? …… 139
4.1.8 漆刷的选用原则是什么? …… 139
4.1.9 刷涂时漆膜的常见缺陷及改进方法是什么? …… 140
4.1.10 什么是滚刷涂? …… 140
4.1.11 滚刷涂的主要工具有哪些? …… 141
4.1.12 什么是通用型滚刷? …… 141
4.1.13 什么是特殊型滚刷? …… 142
4.1.14 什么是压送式滚刷? …… 142
4.1.15 滚刷支撑机构上筒套绒毛材料和长度的选择依据是什么? …… 142
4.1.16 滚刷的操作内容及技巧是什么? …… 143
4.2 刮涂 …… 143
4.2.1 什么是刮涂? …… 143
4.2.2 刮涂用刮刀有哪些类型? …… 144
4.2.3 常用腻子盘有哪些类型? …… 145
4.2.4 常用打磨工具有哪些类型? …… 145
4.2.5 使用刮涂工具的注意事项有哪些? …… 146

4.2.6　刮涂的主要内容有哪些？ …… 147
4.2.7　刮涂时的操作技巧有哪些？ …… 148
4.3　浸涂 …… 148
4.3.1　什么是浸涂？ …… 148
4.3.2　浸涂的应用范围有哪些？ …… 148
4.3.3　常用浸涂设备有哪些？ …… 148
4.3.4　什么是浸涂槽？ …… 149
4.3.5　浸涂时去除余漆的装置有哪些？ …… 149
4.3.6　浸涂时的加热装置是什么？ …… 150
4.3.7　浸涂时的冷却装置是什么？ …… 150
4.3.8　常用搅拌装置的种类有哪些？ …… 150
4.3.9　浸涂时有哪些操作注意事项？ …… 151
4.3.10　浸涂时漆膜的常见缺陷及改进方法有哪些？ …… 151
4.4　淋涂 …… 152
4.4.1　什么是淋涂？ …… 152
4.4.2　淋涂工艺的特点是什么？ …… 152
4.4.3　淋涂的主要工艺条件是什么？ …… 152
4.4.4　如何操作淋涂机？ …… 152
4.4.5　淋涂时漆膜的常见缺陷及改进方法有哪些？ …… 153
4.5　转鼓涂 …… 153
4.5.1　什么是转鼓涂？ …… 153
4.5.2　转鼓涂的设备有哪些？ …… 154
4.5.3　转鼓涂的操作要点有哪些？ …… 154
4.5.4　转鼓涂操作时有哪些注意事项？ …… 154
4.6　空气喷涂 …… 154
4.6.1　什么是空气喷涂？ …… 154
4.6.2　空气喷涂的工作原理是什么？ …… 154
4.6.3　空气喷涂用喷枪的种类有哪些？ …… 155
4.6.4　空气喷涂时常用喷枪的特点和型号有哪些？ …… 155
4.6.5　空气喷涂用喷枪的使用原则是什么？ …… 156
4.6.6　空气喷涂的操作要点是什么？ …… 157
4.6.7　空气喷涂时喷枪的常见故障和排除方法是什么？ …… 157
4.7　辊涂 …… 158
4.7.1　什么是辊涂？ …… 158
4.7.2　辊涂方法的工艺要求和应用范围分别有哪些？ …… 158
4.7.3　辊涂的主要设备是什么？ …… 159
4.7.4　如何操作辊涂机？ …… 160
4.7.5　辊涂时的技术要点有哪些？ …… 160
4.7.6　辊涂有哪些优点？ …… 160
4.7.7　辊涂有哪些缺点？ …… 161

4.7.8　辊涂时常见缺陷产生原因及预防措施是什么？ …… 161
4.8　帘幕涂 …… 161
4.8.1　什么是帘幕涂？ …… 161
4.8.2　帘幕涂有哪些优点？ …… 161
4.8.3　帘幕涂有哪些缺点？ …… 162
4.8.4　常用帘幕涂设备有哪些？ …… 162
4.8.5　帘幕涂的工艺参数有哪些？ …… 162
4.8.6　常见的帘幕涂的工艺是什么？ …… 162
4.8.7　帘幕涂时涂膜常见的缺陷及改进方法有哪些？ …… 163
4.9　高压无气喷涂 …… 163
4.9.1　什么是高压无气喷涂？ …… 163
4.9.2　高压无气喷涂的有哪些优点？ …… 164
4.9.3　高压无气喷涂有哪些缺点？ …… 164
4.9.4　常用高压无气喷涂设备有哪些？ …… 164
4.9.5　动力源的种类有哪些？ …… 164
4.9.6　按工作原理分高压泵的种类有哪些？ …… 164
4.9.7　按动力源种类分高压泵的种类有哪些？ …… 165
4.9.8　高压无气喷涂用喷枪的喷嘴有哪些种类？ …… 166
4.9.9　常见高压无气喷涂工艺参数有哪些？ …… 166
4.9.10　高压无气喷涂时喷涂设备如何起动？ …… 167
4.9.11　如何进行高压无气喷涂？ …… 167
4.9.12　高压无气喷涂时如何停机？ …… 169
4.9.13　高压无气喷涂中常见的设备故障及其排除方法是什么？ …… 169
4.9.14　高压无气喷涂施工工程中的异常现象及解决措施有哪些？ …… 170
4.9.15　新型高压无气喷涂设备有哪些？ …… 171
4.9.16　空气辅助无气喷涂有哪些特点？ …… 172
4.9.17　双组分高压无气喷涂设备操作时有哪些注意事项？ …… 172
4.10　静电喷涂 …… 172
4.10.1　什么是静电喷涂？ …… 172
4.10.2　静电喷涂有哪些特点？ …… 173
4.10.3　静电喷涂对涂料的要求有哪些？ …… 173
4.10.4　静电喷涂的常用涂料及涂装方式有哪些？ …… 173
4.10.5　常用静电喷涂的溶剂及其极性是什么？ …… 173
4.10.6　影响静电喷涂质量的因素有哪些？ …… 174
4.10.7　常用手提式静电喷涂设备是什么？ …… 175
4.10.8　如何操作手提式静电喷涂设备？ …… 175
4.10.9　手提式静电喷涂设备的常见故障及其排除方法有哪些？ …… 176
4.10.10　常用旋杯式静电喷涂设备是什么？ …… 177
4.10.11　如何操作旋杯式静电喷涂设备？ …… 177
4.10.12　旋杯式静电喷涂设备的常见故障及其排除方法有哪些？ …… 177

4.11 电泳涂装 …… 178
4.11.1 什么是电泳涂装? …… 178
4.11.2 电泳涂装的主要特点及适用范围是什么? …… 178
4.11.3 阳极电泳涂装和阴极电泳涂装的区别有哪些? …… 178
4.11.4 电泳涂装主要设备有哪些? …… 179
4.11.5 什么是循环搅拌系统? …… 179
4.11.6 电泳涂装方法的电极种类有哪些? …… 180
4.11.7 什么是电泳槽? …… 180
4.11.8 涂料补给装置是什么? …… 180
4.11.9 什么是冲洗系统? …… 180
4.11.10 什么是超滤系统? …… 181
4.11.11 电泳涂装的工作流程是什么? …… 182
4.11.12 电泳涂装过程中产生的涂膜缺陷及防止方法有哪些? …… 182
4.11.13 电泳涂装铝合金型材时的缺陷分析及改进方法有哪些? …… 183
4.12 自泳涂装 …… 188
4.12.1 什么是自泳涂装? …… 188
4.12.2 自泳涂装有何特点? …… 188
4.12.3 自泳涂装的工艺流程是什么? …… 188
4.12.4 自泳涂装过程中产生的缺陷及其防止方法有哪些? …… 188
4.13 粉末涂装 …… 189
4.13.1 什么是粉末涂装? …… 189
4.13.2 粉末涂装有何特点? …… 189
4.13.3 粉末涂装的施工方法有哪些? …… 190
4.13.4 不同的粉末涂料的施工方法有何区别? …… 190
4.13.5 不同的粉末涂料施工方法的常见工艺及其特点有哪些? …… 191
4.13.6 粉末涂装过程中产生的缺陷及解决方法有哪些? …… 192
4.14 涂装方法的选择 …… 193
4.14.1 选择涂装方法的基本要素有哪些? …… 193
4.14.2 如何根据工件的材质、规格、大小及形状选择涂装方法? …… 193
4.14.3 如何根据被涂工件使用的环境条件选择涂装方法? …… 193
4.14.4 涂装时如何根据设备与工具条件选择涂装方法? …… 193
4.14.5 如何根据经济效益、涂装环境及技术力量选择涂装方法? …… 194
4.14.6 如何根据涂层的配套选择涂装方法? …… 194
第5章 涂装工艺 …… 195
5.1 手工涂装 …… 195
5.1.1 手工涂装有什么特点? …… 195
5.1.2 刷涂如何进行施工? …… 195
5.1.3 刷涂操作中有哪些注意事项? …… 196
5.1.4 漆刷应如何进行维护? …… 196
5.2 浸涂、淋涂、辊涂和帘幕涂 …… 197

5.2.1　浸涂工艺对涂料有何要求？ …… 197
5.2.2　浸涂主要工艺条件是什么？ …… 197
5.2.3　什么是浸涂时自然滴落去余漆？ …… 198
5.2.4　什么是浸涂时静电去余漆？ …… 198
5.2.5　淋涂主要工艺条件是什么？ …… 198
5.2.6　辊涂时如何保证供料方式与涂料消耗量相适应？ …… 199
5.2.7　辊涂时如何控制涂膜的厚度？ …… 199
5.2.8　如何保证辊涂时的涂敷效果？ …… 200
5.2.9　辊涂时如何选择橡胶辊？ …… 200
5.2.10　帘幕涂有哪些工艺要点？ …… 201
5.2.11　转鼓涂有哪些工艺要点？ …… 202
5.3　空气喷涂 …… 202
5.3.1　空气喷涂作业的操作过程包括什么？ …… 202
5.3.2　空气喷涂时如何选择喷涂距离？ …… 203
5.3.3　空气喷涂时如何控制喷枪运行速度？ …… 204
5.3.4　空气喷涂时如何控制喷雾图形的搭接？ …… 205
5.3.5　空气喷涂时如何控制涂料的粘度？ …… 206
5.3.6　空气喷涂作业有哪些注意事项？ …… 207
5.3.7　什么是热喷涂？ …… 207
5.3.8　热喷涂操作中有哪些注意事项？ …… 207
5.4　高压无气喷涂 …… 208
5.4.1　无气喷涂工艺条件有哪些？ …… 208
5.4.2　如何计算无气喷涂的喷涂效率？ …… 210
5.4.3　常用涂料的高压无气喷涂工艺条件有哪些？ …… 210
5.5　静电涂装 …… 211
5.5.1　静电涂装的原理是什么？ …… 211
5.5.2　影响静电涂装的因素有哪些？ …… 211
5.5.3　旋杯静电喷涂工艺是什么？ …… 215
5.5.4　粉末静电涂装工艺是什么？ …… 215
5.5.5　高压静电粉末喷涂与摩擦静电粉末喷涂方法有何异同？ …… 215
5.6　电泳涂装 …… 216
5.6.1　电泳涂装的工艺流程包括哪些？ …… 216
5.6.2　影响电泳涂装的因素有哪些？ …… 216
5.7　自泳涂装 …… 217
5.7.1　自泳涂装的原理是什么？ …… 217
5.7.2　自泳涂装工艺包括哪些？ …… 218
5.7.3　自泳槽液工艺及参数应如何控制？ …… 218
5.8　粉末涂装 …… 220
5.8.1　熔射法的原理是什么？ …… 220
5.8.2　流化床涂装法的原理是什么？ …… 221

5.8.3　流化床涂装工艺流程包括哪些？ …… 221
5.8.4　流化床涂装的设备有哪些？ …… 221
5.8.5　静电流化床涂装法的原理是什么？ …… 221
5.8.6　静电粉末振荡涂装法的原理是什么？ …… 222
5.8.7　粉末电泳涂装法的原理是什么？ …… 222
5.8.8　什么是电磁刷涂装？ …… 222
5.8.9　什么是电场云涂装？ …… 222
**5.9　等离子喷涂** …… 222
5.9.1　等离子喷涂的原理是什么？ …… 222
5.9.2　等离子喷涂涂层通常应用在哪些方面？ …… 223
5.9.3　等离子喷涂设备的发展趋势是什么？ …… 223
5.9.4　喷涂室有什么作用？ …… 224
5.9.5　干式喷涂室有何特点？ …… 224
5.9.6　湿式喷涂室有何特点？ …… 225
**5.10　汽车涂装工艺** …… 226
5.10.1　什么是汽车车身涂层标准与涂层体系？ …… 226
5.10.2　什么是汽车零部件的耐腐蚀达克罗涂装？ …… 228
5.10.3　轿车车身涂装工艺是什么？ …… 228
5.10.4　载货汽车车身的涂装工艺是什么？ …… 228
5.10.5　客车车身的涂装工艺是什么？ …… 232
5.10.6　汽车车架的涂装工艺是什么？ …… 234
5.10.7　汽车车轮的涂装工艺是什么？ …… 235
5.10.8　汽车车桥和传动轴的涂装工艺是什么？ …… 237
5.10.9　汽车车门锁的涂装工艺是什么？ …… 237
5.10.10　汽车车身的中涂涂装工艺是什么？ …… 237
**5.11　家用电器涂装工艺** …… 238
5.11.1　家用电器涂装的工艺流程和工艺要求包括哪些？ …… 238
5.11.2　洗衣机的涂装工艺有什么要求和注意要点？ …… 239
5.11.3　电冰箱的涂装工艺特点是什么？ …… 240
5.11.4　电冰箱涂装用涂料有哪些？ …… 240
5.11.5　电冰箱的涂装工艺是什么？ …… 242
**5.12　农用车涂装工艺** …… 243
5.12.1　农用车涂装有什么特点？ …… 243
5.12.2　农用机械的涂装工艺是什么？ …… 243
5.12.3　农用产品涂装中涂层如何标记？ …… 243
5.12.4　农用车涂层有什么技术要求？ …… 246
5.12.5　农用车车身及其部件的涂装工艺是什么？ …… 250
5.12.6　农用车车厢及其部件的涂装工艺是什么？ …… 252
5.12.7　农用车车架及各种托架的防腐蚀涂层的涂装工艺是什么？ …… 254
**5.13　摩托车涂装工艺** …… 254

5.13.1 摩托车用涂料的选择原则是什么? …… 254
5.13.2 摩托车涂装用底漆的选择原则是什么? …… 254
5.13.3 摩托车涂装用面漆的选择原则是什么? …… 255
5.13.4 摩托车涂装部件主要包括哪些? …… 255
5.13.5 摩托车油箱涂装工艺有什么要求和特点? …… 256
5.13.6 车架的涂装工艺流程是什么? …… 258
5.13.7 塑料件的涂装有什么工艺要求和要点? …… 259
5.13.8 摩托车发动机的涂装有什么要求? …… 260
5.14 塑料涂装工艺 …… 262
5.14.1 塑料有哪些分类? …… 262
5.14.2 塑料涂装工艺有什么要求? …… 264
5.14.3 ABS 塑料涂装工艺是什么? …… 265
5.14.4 PVC 塑料门窗涂装工艺是什么? …… 265
5.14.5 手机塑料外壳涂装工艺有什么要求? …… 265
5.15 涂料的固化 …… 266
5.15.1 涂料固化有哪些方法? …… 266
5.15.2 常用的固化方法有哪些? …… 267
5.15.3 热风循环固化的机理是什么? …… 267
5.15.4 热风循环固化的设备有哪些? …… 267
5.15.5 远红外线辐射固化的机理是什么? …… 268
5.15.6 远红外辐射固化设备由哪些部分组成? …… 268
5.15.7 紫外光固化设备有什么特点? …… 269
5.15.8 紫外线照射设备由哪些部分组成? …… 269
5.15.9 电子束固化的原理是什么? …… 270
5.15.10 近红外线固化的原理是什么? …… 270
5.15.11 什么是诱导加热固化? …… 270
5.16 自动涂装系统 …… 270
5.16.1 什么是自动涂装系统? …… 270
5.16.2 什么是自动识别系统? …… 271
5.16.3 什么是自动换色系统? …… 271
5.16.4 什么是自动涂装机和涂装机器人? …… 271
第 6 章 涂装设备 …… 273
6.1 喷涂室 …… 273
6.1.1 喷涂室的分类有哪些? …… 273
6.1.2 干式喷涂室有哪些特征? …… 274
6.1.3 水帘式喷涂室有哪些特征? …… 275
6.1.4 水洗式喷涂室有哪些特征? …… 275
6.1.5 水帘-水洗式喷涂室有哪些特征? …… 276
6.1.6 无泵喷涂室有哪些特征? …… 277
6.1.7 文氏管式喷涂室有哪些特征? …… 277

6.1.8　水旋式喷涂室有哪些特征？ …… 278
6.1.9　怎样进行喷涂室类型的选择？ …… 280
6.1.10　怎样进行喷涂室结构的选择？ …… 280
6.1.11　喷涂室应该怎样维护？ …… 280
6.1.12　喷涂室的三废治理是什么？ …… 281
**6.2　静电喷涂设备** …… 283
6.2.1　静电喷涂的原理是什么？ …… 283
6.2.2　静电涂装有什么特点？ …… 283
6.2.3　静电喷涂有哪些类型？ …… 284
6.2.4　静电喷涂的影响因素有哪些？ …… 284
6.2.5　静电涂装设备的类型有哪些？ …… 285
6.2.6　静电喷涂室的组成有哪些？ …… 285
6.2.7　什么是高压无气静电喷涂设备？ …… 286
6.2.8　什么是空气辅助式低压无气静电喷涂设备？ …… 286
6.2.9　静电涂装设备的选择原则是什么？ …… 287
**6.3　空气喷涂设备** …… 288
6.3.1　空气喷涂的原理是什么？ …… 288
6.3.2　空气喷涂有哪些特点？ …… 288
6.3.3　涂料增压罐的结构是怎样的？ …… 288
6.3.4　喷枪的雾化方式分哪几类？ …… 289
6.3.5　喷枪按涂料供给方式分哪几类？ …… 289
6.3.6　空气喷涂枪的构造是什么？ …… 290
6.3.7　空气帽的类型举例 …… 290
6.3.8　枪体中扳机有怎样的构造？ …… 290
6.3.9　空气喷涂操作方法是什么？ …… 292
6.3.10　喷涂作业中喷涂装置的注意事项有哪些？ …… 293
6.3.11　喷涂作业有哪些要点？ …… 294
**6.4　电泳涂装设备** …… 295
6.4.1　电泳涂装设备由哪几部分构成？ …… 295
6.4.2　槽体具有哪两种形式？ …… 295
6.4.3　怎样选择电极极板的材料？ …… 296
6.4.4　循环搅拌系统的作用是什么？ …… 296
6.4.5　日本的电泳槽液逆向流循环方式是什么？ …… 296
6.4.6　涂料补给装置由哪些部分组成？ …… 297
6.4.7　电泳涂装室有哪些装置？ …… 297
6.4.8　水洗装置由哪些部分构成？ …… 298
6.4.9　电泳涂装超滤装置的结构由哪些组成？ …… 298
6.4.10　超滤器的组装形式有哪些？ …… 299
6.4.11　电泳槽液的更新途径是什么？ …… 299
6.4.12　电泳涂装常见缺陷及防治方法有哪些？ …… 300

6.5　粉末静电涂装设备 …… 301
6.5.1　高压静电发生器有哪两类? …… 301
6.5.2　供粉器有哪些类型? …… 302
6.5.3　静电喷粉枪分哪些类型? …… 302
6.5.4　粉末静电喷枪的带电结构是什么? …… 303
6.5.5　静电喷枪的扩散机构有哪些类型? …… 303
6.5.6　如何选定喷粉柜材料? …… 304
6.5.7　粉末回收装置有哪些类型? …… 304
6.6　高压无气喷涂设备 …… 305
6.6.1　高压无气喷涂设备分哪几类? …… 305
6.6.2　无气喷涂设备由哪些部分组成? …… 305
6.6.3　喷枪的组成部分有哪些? …… 305
6.6.4　动力源的种类有哪些? …… 306
6.6.5　高压泵的种类有哪些? …… 306
6.6.6　蓄压过滤器的构造有哪些? …… 307
6.6.7　输漆管的构造有哪些? …… 307
6.6.8　高压无气喷涂机的维护要点有哪些? …… 307
6.6.9　高压无气喷涂机的选择原则是什么? …… 308
6.7　浸涂设备 …… 308
6.7.1　浸涂设备的组成有哪些? …… 308
6.7.2　浸涂槽槽体的构造是什么? …… 309
6.7.3　搅拌装置有哪些? …… 309
6.7.4　去余漆装置有哪些类型? …… 309
6.7.5　常用的加热装置有哪些? …… 309
6.7.6　冷却装置有哪些形式? …… 310
6.7.7　什么是通风装置? …… 310
6.7.8　防火装置包括哪些? …… 311
第7章　涂膜的干燥 …… 312
7.1　涂膜的成膜机理及分类 …… 312
7.1.1　什么是涂料的成膜? …… 312
7.1.2　涂覆在被涂物表面的未固化涂膜有哪些形式? …… 312
7.1.3　涂膜的干燥机理是什么? …… 312
7.1.4　物理性干燥的涂料有何特点? …… 312
7.1.5　化学性干燥的涂料有何特点? …… 312
7.1.6　挥发型涂料的成膜机理是什么? …… 313
7.1.7　挥发型涂料的成膜过程是什么? …… 313
7.1.8　环境中对挥发性涂料干燥的影响因素有哪些? …… 313
7.1.9　强氧化性涂料的干燥机理是什么? …… 313
7.1.10　烘烤聚合性漆的干燥机理是什么? …… 313
7.1.11　转化型涂料的成膜原理是什么? …… 314

7.1.12　影响氧化聚合型涂料干燥速度的因素有哪些？ …… 314
7.1.13　乳胶成膜过程是什么？ …… 314
7.2　涂膜的干燥固化方法及过程 …… 315
7.2.1　涂膜的干燥固化方法有哪些？ …… 315
7.2.2　涂膜的干燥过程是什么？ …… 315
7.2.3　涂膜干燥程度如何区分？ …… 315
7.2.4　如何选择涂膜的干燥方式？ …… 316
7.2.5　什么是涂膜的自然干燥？ …… 317
7.2.6　涂膜的自然干燥速度影响因素有哪些？ …… 317
7.2.7　什么是涂膜的加热干燥？ …… 318
7.2.8　加热干燥有何特点？ …… 318
7.2.9　加热烘干室的安全规定有哪些？ …… 318
7.2.10　加热干燥时有哪些注意事项？ …… 318
7.2.11　什么是对流式热风干燥？ …… 319
7.2.12　什么是辐射式干燥？ …… 319
7.2.13　什么是光照射固化法？ …… 319
7.2.14　什么是电子束辐射固化法？ …… 319
7.2.15　辐射式干燥与对流式干燥相比有何特点？ …… 320
7.2.16　什么是高周波固化法？ …… 320
7.2.17　什么是氨蒸气固化法？ …… 320
7.3　涂膜干燥时间的确定方法 …… 320
7.3.1　什么是涂膜的干燥时间？ …… 320
7.3.2　涂料的干燥分哪些阶段？ …… 320
7.3.3　表面干燥时间的确定方法有哪些？ …… 320
7.3.4　涂膜的实际干燥时间的确定方法有哪些？ …… 321
7.3.5　如何用自动涂膜干燥时间试验仪确定干燥时间？ …… 321
7.4　固化装置 …… 321
7.4.1　烘干室如何分类？ …… 321
7.4.2　对流式烘干室由哪些组成？ …… 321
7.4.3　对流式干燥有何特点？ …… 323
7.4.4　紫外线固化设备由哪些组成？ …… 323
7.4.5　远红外辐射固化设备由哪些组成？ …… 323
7.4.6　电子束固化设备有何性能？ …… 324
7.4.7　如何选择固化设备？ …… 324
第8章　涂料及涂膜性能的质量检测 …… 325
8.1　涂料性能的检测 …… 325
8.1.1　涂料检测时怎样取样？ …… 325
8.1.2　如何测定涂料的外观？ …… 325
8.1.3　如何测定涂料的透明度？ …… 326
8.1.4　如何用涂－1粘度计法测粘度？ …… 326

8.1.5　如何用涂 -4 粘度计法测粘度? …… 326
8.1.6　如何测定涂料的细度? …… 327
8.1.7　如何用培养皿法测定涂料中固体含量? …… 327
8.1.8　如何测定涂料的结皮性? …… 327
8.1.9　如何测定涂料的灰分? …… 328
8.1.10　如何测定涂料的密度? …… 328
8.1.11　如何测定涂料的干燥性? …… 330
8.1.12　如何测定涂料的 pH 值? …… 330
8.1.13　如何测定涂料的流平性? …… 331
8.1.14　如何测定电泳漆的泳透力? …… 331
8.1.15　如何测定遮盖力? …… 332
8.1.16　如何测定打磨性? …… 332
8.1.17　如何测定涂料的使用量? …… 332
8.1.18　如何测定涂料的电导率? …… 332
8.1.19　如何测定重涂性? …… 333
8.1.20　如何测定溶剂的含量? …… 333
8.1.21　如何测定电泳漆的消泡性? …… 333
8.2　涂膜质量及常规性能的检测 …… 333
8.2.1　如何测定涂膜的厚度? …… 333
8.2.2　如何测定漆膜的光泽? …… 334
8.2.3　如何测定漆膜颜色? …… 335
8.2.4　如何用铅笔硬度法测定涂膜硬度? …… 335
8.2.5　如何测定涂膜的抗石击性? …… 335
8.2.6　如何测定涂膜的冲击强度? …… 336
8.2.7　如何测定涂膜的柔韧性? …… 336
8.2.8　如何用画圈法测定涂膜的附着力? …… 336
8.2.9　如何测定涂膜的耐化学试剂性能? …… 337
8.2.10　如何测定涂膜的耐磨性? …… 337
8.2.11　如何测定涂膜的耐汽油性? …… 337
8.2.12　如何测定涂膜的耐洗刷性? …… 338
8.2.13　如何测定电泳涂膜的干燥性? …… 338
8.2.14　如何测定涂膜的耐湿热性? …… 338
8.2.15　如何测定涂膜的耐水性? …… 339
8.2.16　如何测定涂膜的耐化学性? …… 339
第 9 章　涂装中常见涂料和涂膜弊病及防止措施 …… 340
9.1　涂料和涂膜产生弊病的原因 …… 340
9.1.1　涂膜产生病态的原因是什么? …… 340
9.1.2　涂料和涂膜弊病如何分类? …… 340
9.2　涂料在运输、贮存过程中经常产生的弊病及防止措施 …… 341
9.2.1　什么是涂料的沉淀与结块? …… 341

9.2.2　涂料沉淀与结块的原因是什么? …… 341
9.2.3　如何防止涂料的沉淀与结块? …… 341
9.2.4　涂料变稠的原因是什么? …… 342
9.2.5　如何防止涂料变稠? …… 342
9.2.6　什么是涂料的发胀? …… 343
9.2.7　涂料发胀的原因是什么? …… 343
9.2.8　如何防止涂料发胀? …… 343
9.2.9　什么是涂料发浑? …… 343
9.2.10　涂料发浑的原因是什么? …… 344
9.2.11　如何防止涂料发浑? …… 344
9.2.12　什么是涂料的变色? …… 344
9.2.13　涂料变色的原因是什么? …… 344
9.2.14　如何防止涂料变色? …… 345
9.2.15　什么是涂料的结皮? …… 345
9.2.16　涂料结皮的原因是什么? …… 345
9.2.17　如何防止涂料结皮? …… 345
9.2.18　什么是涂料的起料? …… 346
9.2.19　涂料起料的原因是什么? …… 346
9.2.20　如何防止涂料的起料? …… 346
9.2.21　什么是涂料的胖听? …… 346
9.2.22　涂料胖听产生的原因是什么? …… 346
9.2.23　如何防止涂料的胖听? …… 346
9.2.24　什么是涂料腐败? …… 347
9.2.25　涂料腐败产生的原因是什么? …… 347
9.2.26　如何防止涂料的腐败? …… 347
**9.3　一般涂装过程中产生的涂膜弊病及防止措施** …… 347
9.3.1　什么是流挂? …… 347
9.3.2　流挂产生的原因是什么? …… 347
9.3.3　如何防止流挂? …… 348
9.3.4　什么是慢干和不干? …… 348
9.3.5　慢干和不干产生的原因是什么? …… 348
9.3.6　如何防止慢干和不干? …… 349
9.3.7　什么是返粘和回粘? …… 349
9.3.8　返粘和回粘产生的原因是什么? …… 349
9.3.9　如何防止返粘和回粘? …… 350
9.3.10　什么是光泽不良? …… 350
9.3.11　光泽不良产生的原因是什么? …… 350
9.3.12　如何防止光泽不良? …… 350
9.3.13　什么是金属闪光色不匀? …… 351
9.3.14　金属闪光色不匀产生的原因是什么? …… 351

9.3.15　如何防止金属闪光色不匀？ …… 351
9.3.16　什么是丰满度差？ …… 352
9.3.17　丰满度差产生的原因是什么？ …… 352
9.3.18　如何防止丰满度差？ …… 352
9.3.19　什么是鲜映性不良？ …… 352
9.3.20　鲜映性不良产生的原因是什么？ …… 352
9.3.21　如何防止鲜映性不良？ …… 352
9.3.22　什么是色差？ …… 353
9.3.23　色差产生的原因是什么？ …… 353
9.3.24　如何防止色差？ …… 353
9.3.25　什么是针孔？ …… 353
9.3.26　针孔产生的原因是什么？ …… 354
9.3.27　如何防止针孔？ …… 354
9.3.28　什么是起粒？ …… 354
9.3.29　起粒产生的原因是什么？ …… 355
9.3.30　如何防止起粒？ …… 355
9.3.31　什么是起霜？ …… 355
9.3.32　起霜产生的原因是什么？ …… 355
9.3.33　如何防止起霜？ …… 356
9.3.34　什么是气泡和爆孔？ …… 356
9.3.35　气泡和爆孔产生的原因是什么？ …… 356
9.3.36　如何防止气泡和爆孔？ …… 357
9.3.37　什么是刷痕？ …… 357
9.3.38　刷痕产生的原因是什么？ …… 357
9.3.39　如何防止刷痕？ …… 357
9.3.40　什么是咬底？ …… 358
9.3.41　咬底产生的原因是什么？ …… 358
9.3.42　如何防止咬底？ …… 358
9.3.43　什么是发花？ …… 359
9.3.44　发花产生的原因是什么？ …… 359
9.3.45　如何防止发花？ …… 359
9.3.46　什么是浮色？ …… 359
9.3.47　浮色产生的原因是什么？ …… 360
9.3.48　如何防止浮色？ …… 360
9.3.49　什么是渗色？ …… 360
9.3.50　渗色产生的原因是什么？ …… 360
9.3.51　如何防止渗色？ …… 361
9.3.52　什么是露底和盖底不良？ …… 361
9.3.53　露底和盖底不良产生的原因是什么？ …… 361
9.3.54　如何防止露底和盖底不良？ …… 362

9.3.55　什么是发白？ …… 362
9.3.56　发白产生的原因是什么？ …… 362
9.3.57　如何防止发白？ …… 363
9.3.58　什么是水印？ …… 363
9.3.59　水印产生的原因是什么？ …… 363
9.3.60　如何防止水印？ …… 363
9.3.61　什么是腻子痕迹？ …… 364
9.3.62　腻子痕迹产生的原因是什么？ …… 364
9.3.63　如何防止腻子痕迹？ …… 364
9.3.64　什么是桔皮？ …… 365
9.3.65　桔皮产生的原因是什么？ …… 365
9.3.66　如何防止桔皮？ …… 365
9.3.67　什么是发汗？ …… 366
9.3.68　发汗产生的原因是什么？ …… 366
9.3.69　如何防止发汗？ …… 366
9.3.70　什么是起皱？ …… 366
9.3.71　起皱产生的原因是什么？ …… 366
9.3.72　如何防止起皱？ …… 367
9.3.73　什么是厚边？ …… 367
9.3.74　厚边产生的原因是什么？ …… 367
9.3.75　如何防止厚边？ …… 367
9.3.76　什么是鱼眼？ …… 368
9.3.77　鱼眼产生的原因是什么？ …… 368
9.3.78　如何防止鱼眼？ …… 368
9.3.79　什么是拉丝？ …… 369
9.3.80　拉丝产生的原因是什么？ …… 369
9.3.81　如何防止拉丝？ …… 369
9.3.82　什么是“不起花纹”？ …… 369
9.3.83　“不起花纹”产生的原因是什么？ …… 369
9.3.84　如何防止“不起花纹”？ …… 370
9.3.85　什么是砂纸纹？ …… 370
9.3.86　砂纸纹产生的原因是什么？ …… 370
9.3.87　如何防止砂纸纹？ …… 370
9.3.88　如何改善涂膜表面手感？ …… 371
**9.4　电泳涂装中产生的涂膜弊病及防止措施** …… 371
9.4.1　电泳涂装中颗粒是怎样产生的？ …… 371
9.4.2　如何防止电泳涂装中产生颗粒？ …… 371
9.4.3　电泳涂装中缩孔产生的原因是什么？ …… 372
9.4.4　如何防止电泳涂装中的缩孔？ …… 372
9.4.5　电泳涂装中针孔产生的原因是什么？ …… 372

9.4.6　如何防止电泳涂装中针孔的产生？ …… 372
9.4.7　电泳涂装中涂膜粗糙的原因是什么？ …… 373
9.4.8　如何防止电泳涂装中涂膜粗糙？ …… 373
9.4.9　电泳涂装中涂膜再溶解的原因是什么？ …… 373
9.4.10　如何防止电泳涂装中涂膜再溶解？ …… 373
9.4.11　电泳涂装中涂膜过厚的原因是什么？ …… 373
9.4.12　如何防止电泳涂装中涂膜过厚？ …… 373
9.4.13　电泳涂装中涂膜过薄的原因是什么？ …… 374
9.4.14　如何防止电泳涂装中涂膜过薄？ …… 374
9.4.15　电泳涂装中附着异常的原因是什么？ …… 374
9.4.16　如何防止电泳涂装中附着异常？ …… 374
9.4.17　电泳涂装中泳透力低的原因是什么？ …… 375
9.4.18　如何防止电泳涂装中泳透力低？ …… 375
9.4.19　电泳涂装中水迹产生的原因是什么？ …… 375
9.4.20　如何防止电泳涂装中产生水迹？ …… 375
9.4.21　电泳涂装后耐蚀性差的原因是什么？ …… 375
9.4.22　如何解决电泳涂装后耐蚀性差？ …… 376
**9.5　产品使用过程中产生的涂膜破坏状态及防止措施** …… 376
9.5.1　黄变产生的原因是什么？ …… 376
9.5.2　如何防止黄变？ …… 376
9.5.3　什么是失光或粉化？ …… 376
9.5.4　失光或粉化产生的原因是什么？ …… 377
9.5.5　如何防止失光和粉化？ …… 377
9.5.6　开裂产生的原因是什么？ …… 377
9.5.7　如何防止开裂？ …… 378
9.5.8　什么是剥落？ …… 378
9.5.9　剥落产生的原因是什么？ …… 379
9.5.10　如何防止剥落？ …… 379
9.5.11　什么是锈蚀？ …… 379
9.5.12　锈蚀产生的原因是什么？ …… 380
9.5.13　如何防止锈蚀？ …… 380
9.5.14　什么是长霉？ …… 380
9.5.15　长霉产生的原因是什么？ …… 381
9.5.16　如何防止长霉？ …… 381
9.5.17　什么是沾污？ …… 381
9.5.18　沾污产生的原因是什么？ …… 381
9.5.19　如何防止沾污？ …… 382
9.5.20　什么是墙面泛碱？ …… 382
9.5.21　墙面泛碱产生的原因是什么？ …… 382
9.5.22　如何防止墙面泛碱？ …… 382

第 10 章　涂装的污染治理及安全技术 …… 384
10.1　涂装废水的治理 …… 384
10.1.1　涂装废水的种类有哪些？ …… 384
10.1.2　废水治理的方法有哪些？ …… 384
10.1.3　涂装产生的废水如何进行三级处理？ …… 385
10.1.4　金属材料涂装预处理产生的废水种类及各自更换周期？ …… 385
10.1.5　金属材料涂装预处理产生的各类废水如何治理？ …… 385
10.1.6　如何处理电泳涂漆废水？ …… 386
10.2　涂装作业场所的安全卫生 …… 387
10.2.1　表面预处理作业场所的污染源有哪些？ …… 387
10.2.2　涂装作业场所的污染源有哪些？ …… 387
10.2.3　涂装预处理作业场所有哪些安全卫生措施？ …… 388
10.2.4　涂装作业场所有哪些安全卫生指标？ …… 388
10.2.5　涂装作业场所还有哪些其他安全卫生措施？ …… 390
10.2.6　密闭空间内涂装作业的安全卫生措施有哪些？ …… 390
10.3　涂装防毒安全技术 …… 391
10.3.1　涂装过程中为什么要注意防毒？ …… 391
10.3.2　涂装作业中所产生的有害物质及其来源是什么？ …… 391
10.3.3　涂装车间有害物的产生量有多大？ …… 392
10.3.4　如何处理涂装车间的有害物？ …… 392
10.3.5　涂装作业的职业危害有哪些？ …… 392
10.3.6　涂装防毒的技术措施有哪些？ …… 393
10.3.7　喷涂室在涂装作业排毒中有何作用？ …… 394
10.3.8　涂装喷涂室必须具备哪些安全技术条件？ …… 394
10.4　涂装防火防爆安全技术 …… 396
10.4.1　涂装车间对防火防爆有何要求？ …… 396
10.4.2　易燃溶剂的危险性及火灾危险品的等级如何划分？ …… 396
10.4.3　如何划分涂装作业场所的爆炸危险等级？ …… 397
10.4.4　涂装作业场所建筑物的防火等级和燃烧性能有什么要求？ …… 397
10.4.5　常用有机溶剂和稀释剂的爆炸极限是多少？ …… 397
10.4.6　有机溶剂和有机粉末有哪些爆炸危险性？ …… 398
10.4.7　爆炸危险场所电气设备的选型有哪些要求？ …… 398
10.4.8　火灾如何分类？ …… 399
10.4.9　燃烧物危险等级如何划分？ …… 399
10.4.10　涂装防火安全措施有哪些？ …… 399
10.4.11　涂装防火安全的注意事项有哪些？ …… 400
10.4.12　常用的灭火方法有哪些？ …… 400
10.4.13　如何进行火灾、爆炸监测？ …… 400
10.4.14　灭火材料有哪些？ …… 401
10.4.15　灭火装置的设置数量有哪些要求？ …… 402

10.4.16　灭火剂和灭火机的选用范围是什么？ …… 403
10.4.17　使用二氧化碳气体灭火器时有哪些注意事项？ …… 403
10.4.18　泡沫灭火机的使用维护有哪些注意事项？ …… 403
**10.5　涂装防静电安全技术** …… 404
10.5.1　涂装作业中的静电危害有哪些？ …… 404
10.5.2　如何进行静电测量？ …… 404
10.5.3　防静电的技术措施有哪些？ …… 405
10.5.4　静电涂装中的防静电设计有哪些注意事项？ …… 406
**10.6　涂装防尘安全技术** …… 407
10.6.1　涂装作业的粉尘来源有哪些？ …… 407
10.6.2　涂装作业的粉尘有哪些危害？ …… 407
10.6.3　涂装作业防尘安全原则有哪些？ …… 408
10.6.4　如何采用真空喷砂防尘？ …… 408
10.6.5　真空喷砂机的工作原理和特点是什么？ …… 409
10.6.6　如何采用湿式作业防尘？ …… 410
10.6.7　湿式喷砂机的工作原理及特点分别是什么？ …… 410
10.6.8　喷抛丸除锈设备如何进行通风除尘？ …… 410
**10.7　涂装防噪声安全技术** …… 411
10.7.1　涂装作业的噪声源有哪些？ …… 411
10.7.2　涂装作业噪声治理有哪些一般原则？ …… 411
10.7.3　涂装作业的噪声治理有何步骤？ …… 412
10.7.4　如何利用通风机和空压机进行气流噪声治理？ …… 413
10.7.5　如何设计与选用通风机消声器？ …… 414
10.7.6　如何设计与选用空压机消声器？ …… 415
10.7.7　如何进行高压风机噪声治理？ …… 415
10.7.8　制作隔声罩有哪些要求？ …… 415
10.7.9　制作声屏障有哪些要求？ …… 416
10.7.10　蒸汽冲击噪声的治理包括哪些内容？ …… 417
10.7.11　对风管噪声如何进行综合治理？ …… 417
**10.8　涂装废气的治理** …… 418
10.8.1　废气的主要来源有哪些？ …… 418
10.8.2　涂装排出的溶剂废气有何特征？ …… 418
10.8.3　如何减少废气的释放？ …… 419
10.8.4　如何对排放废气进行治理？ …… 419
10.8.5　催化燃烧常用的催化剂有哪几类？ …… 420
10.8.6　活性炭吸附常用的装置有哪些？ …… 420
10.8.7　常用溶剂废气治理需要多少活性炭？ …… 421
10.8.8　催化剂中毒的原因有哪些？ …… 421
10.8.9　工业常用吸附剂有哪些？ …… 422
10.8.10　如何选择洗涤吸收法的吸收装置？ …… 422

10.9　降低 VOC 排放在工业上的应用 …… 423
10.9.1　VOC 是什么? …… 423
10.9.2　建筑领域对降低 VOC 涂装可采取哪些措施? …… 423
10.9.3　钢铁结构件重防腐涂装为降低 VOC 可采取哪些措施? …… 424
10.9.4　船舶领域对降低 VOC 涂装可采取哪些措施? …… 424
10.9.5　汽车领域为降低 VOC 涂装可采取哪些措施? …… 424
10.9.6　家电、金属制品领域为降低 VOC 涂装可采取哪些措施? …… 424
10.10　涂装废渣的治理 …… 425
10.10.1　涂装车间废渣的来源有哪些? …… 425
10.10.2　涂装车间废渣的种类及特点有哪些? …… 425
10.10.3　废渣排放如何控制? …… 425
10.10.4　废弃物处理方法有哪些? …… 425
10.10.5　废弃物的处理方式如何选择? …… 426
10.10.6　废弃物处理装置如何选择? …… 426
10.10.7　燃烧中有哪些注意事项? …… 426
10.11　涂装防腐蚀安全技术 …… 427
10.11.1　防腐蚀涂装系统的设计包括哪些内容? …… 427
10.11.2　如何进行腐蚀环境和工作条件的分析评估? …… 427
10.11.3　如何正确确定涂装系统? …… 427
10.11.4　常用防腐蚀涂料有哪些类型? …… 428
10.11.5　如何保证防腐蚀涂料涂层之间的重涂适应性? …… 428
10.11.6　对不同用途涂层的厚度有哪些规定? …… 428
第 11 章　涂装作业环境保护 …… 429
11.1　涂装作业环境污染及其控制原则 …… 429
11.1.1　什么是涂装作业环境保护? …… 429
11.1.2　环境保护的任务是什么? …… 429
11.1.3　环境污染的防治措施有哪些? …… 429
11.1.4　涂装作业中的有害物质有哪些? …… 429
11.1.5　涂装废物的危害有哪些? …… 430
11.1.6　工业涂装有害物质的处理途径有哪些? …… 430
11.1.7　涂装现场对环境的管理有何原则? …… 430
11.2　涂装废水处理 …… 431
11.2.1　工业涂装的废水来源及种类有哪些? …… 431
11.2.2　废水排放有何标准? …… 432
11.2.3　涂装前废水有哪些? …… 432
11.2.4　脱脂废水的来源及组分有哪些? …… 433
11.2.5　脱脂废水各有何特点及相同点是什么? …… 433
11.2.6　废水的处理方法有哪些? …… 433
11.2.7　什么是废水的浮上分离处理法? …… 434
11.2.8　什么是废水的凝集沉淀处理法? …… 435

11.2.9　什么是废水的离子交换法？ …… 438
11.2.10　什么是废水的膜分离法？ …… 440
11.2.11　常用膜分离方法如何分类？ …… 440
11.2.12　常用膜分离法原理、特点及适用范围是什么？ …… 440
11.2.13　什么是废水的生物学处理？ …… 443
11.2.14　什么是废水的燃烧法处理？ …… 444
11.2.15　常用涂料涂装的废液有何性能？ …… 444
11.2.16　什么是含酸废水的回收处理？ …… 445
11.2.17　什么是含酸废水的相互中和处理？ …… 445
11.2.18　什么是含酸废水的投药中和处理？ …… 445
11.2.19　什么是含酸废水的中和与混凝混合处理？ …… 446
11.2.20　碱性脱脂废液如何处理？ …… 447
11.2.21　磷化处理废液如何处理？ …… 448
11.2.22　钝化封闭液如何处理？ …… 448
11.2.23　什么是电泳涂装废水的生物法处理？ …… 448
11.2.24　什么是生物滤池？ …… 449
11.2.25　什么是生物转盘？ …… 449
11.2.26　什么是电泳涂漆的超滤系统？ …… 450
11.2.27　什么是电泳涂漆废液的电解析处理法？ …… 451
11.2.28　喷涂室废水有什么特点？ …… 451
11.2.29　喷涂室废水如何处理？ …… 452
**11.3　涂装废气处理** …… 452
11.3.1　涂装废气的来源有哪些？ …… 452
11.3.2　涂装废气有什么特点？ …… 452
11.3.3　涂装废气的处理方法有哪些？ …… 454
11.3.4　什么是废气的直接燃烧法？ …… 454
11.3.5　使用直接燃烧法时有哪些注意事项？ …… 455
11.3.6　什么是废气的催化燃烧法？ …… 455
11.3.7　使用催化燃烧法时有哪些注意事项？ …… 456
11.3.8　什么是废气的吸收法？ …… 457
11.3.9　什么是废气的活性炭吸附法？ …… 458
11.3.10　什么是活性炭的吸附容量？ …… 459
11.3.11　什么是等温吸附和吸附等温曲线？ …… 459
11.3.12　使用活性炭吸附法时有哪些注意事项？ …… 460
11.3.13　建筑领域的低VOC涂装体系包括哪些内容？ …… 461
11.3.14　钢铁结构件的低VOC涂装体系有哪些内容？ …… 463
11.3.15　船舶领域的低VOC涂装体系有哪些内容？ …… 463
11.3.16　汽车维修领域的低VOC涂装体系有哪些内容？ …… 463
11.3.17　新车的低VOC涂装体系有哪些内容？ …… 464
11.3.18　家电、金属制品领域的低VOC涂装体系有哪些内容？ …… 464

11.4　涂装废渣处理 …… 465
11.4.1　涂装废渣是如何产生的？ …… 465
11.4.2　涂装废渣的种类有哪些？ …… 465
11.4.3　如何减少涂装废渣的产生？ …… 467
11.4.4　涂装废渣的处理方法有哪些？ …… 467
11.4.5　涂装废渣的处理装置有哪些？ …… 467
11.4.6　常用燃烧炉的适用性有哪些？ …… 468
11.4.7　涂装废渣的处理过程中有哪些注意事项？ …… 468
第12章　涂装车间布置 …… 469
12.1　涂装车间的布置设计 …… 469
12.1.1　什么是涂装车间的布置设计？ …… 469
12.1.2　涂装车间的分类有哪些？ …… 469
12.1.3　涂装车间的设计依据有哪些？ …… 469
12.1.4　涂装车间的布置设计有哪些基本条件？ …… 469
12.1.5　涂装车间的布置设计的原则是什么？ …… 472
12.1.6　涂装车间的布置设计要求有哪些？ …… 473
12.1.7　涂装车间的布置设计程序是什么？ …… 473
12.1.8　涂装车间布置的步骤和方法是什么？ …… 473
12.1.9　涂装车间工艺设计的阶段与程序分别是什么？ …… 474
12.1.10　涂装车间各设计阶段中工作的主要内容是什么？ …… 474
12.1.11　如何设计涂装车间工艺设计中的生产纲领？ …… 476
12.1.12　如何设定涂装车间的工作制度和年时基数？ …… 477
12.1.13　涂装车间的布置设计所需要的基础资料有哪些？ …… 477
12.1.14　涂装车间总平面设计的原则是什么？ …… 478
12.1.15　涂装车间平面布置图有哪些组成部分？ …… 478
12.1.16　涂装车间平面布置方法是什么？ …… 478
12.1.17　涂装车间平面布置方案有哪些？ …… 479
12.1.18　涂装车间厂房有哪些基本组成部分？ …… 479
12.1.19　如何布置涂装车间的厂房？ …… 479
12.1.20　涂装车间厂房平面设计中有哪些注意事项？ …… 480
12.1.21　涂装车间厂房的平面形式有哪些？ …… 481
12.1.22　如何确定涂装厂房柱网的布置和厂房宽度？ …… 481
12.1.23　如何确定涂装厂房高度？ …… 482
12.1.24　如何设计涂装车间厂房的布置草图？ …… 482
12.1.25　涂装车间厂房布置图由哪几个部分组成？ …… 482
12.1.26　如何进行轿车车身油漆车间的厂房布置设计？ …… 482
12.1.27　如何进行钢圈油漆工段布置设计？ …… 484
12.1.28　如何布置设计调漆间？ …… 484
12.1.29　涂漆区布置设计有什么要求？ …… 484
12.1.30　如何确定涂漆室的防火间距？ …… 486

12. 1. 31　如何布置涂漆室的防火墙？ …… 486
12. 1. 32　如何设置涂漆室的泄压面积？ …… 487
12. 1. 33　喷涂室有哪些类型？ …… 487
12. 1. 34　干式喷涂室的基本原理是什么？ …… 488
12. 1. 35　干式喷涂室有什么特点？ …… 489
12. 1. 36　湿式喷涂室的基本原理及结构是什么？ …… 489
12. 1. 37　湿式喷涂室有什么特点？ …… 490
12. 1. 38　喷涂室空调供风系统是什么结构？ …… 490
12. 1. 39　排风洗涤装置的喷涂室有什么特点？ …… 492
12. 1. 40　如何确定喷涂室给排风系统中的风速？ …… 493
12. 1. 41　排风和漆雾捕集系统是什么结构？ …… 494
12. 1. 42　烘干室有哪些类型？ …… 495
12. 1. 43　布置烘干室时有哪些注意事项？ …… 496
12. 1. 44　如何进行化学品储存间和化验室的布置设计？ …… 497
12. 1. 45　化工车间的组成部分有哪些？ …… 497
12. 1. 46　如何进行涂装车间辅助设施中生活间和办公室的布置设计？ …… 497
12. 1. 47　如何配置涂装车间的辅助房间及行政-福利室？ …… 497
12. 1. 48　如何确定涂装车间的人员？ …… 498
**12. 2　涂装车间的设备布置** …… 498
12. 2. 1　涂装设备布置有什么内容？ …… 498
12. 2. 2　涂装设备布置有哪些基本要求？ …… 498
12. 2. 3　涂装设备布置有哪些其他要求？ …… 498
12. 2. 4　涂装设备布置时有什么注意事项？ …… 499
12. 2. 5　涂装设备布置的生产工艺有什么要求？ …… 499
12. 2. 6　如何排列厂房内的涂装设备？ …… 500
12. 2. 7　涂装设备及通道的平面布置主要遵循哪些原则？ …… 500
12. 2. 8　如何确定涂装设备的最小操作距离？ …… 500
12. 2. 9　涂装设备操作时各设备之间或与车间内通道的宽度有哪些要求？ …… 502
12. 2. 10　涂装设备露天化布置的优缺点是什么？ …… 503
12. 2. 11　涂装设备在何种情况下需要考虑露天布置？ …… 503
12. 2. 12　涂装设备安装检修、建筑有什么要求？ …… 503
**12. 3　涂装车间对环境的要求及影响** …… 504
12. 3. 1　涂装车间对采光和照明的要求有哪些？ …… 504
12. 3. 2　涂装车间对温度和湿度的要求有哪些？ …… 504
12. 3. 3　对涂装车间地面的要求有哪些？ …… 505
12. 3. 4　涂装车间对尘埃的许可程度是什么？ …… 505
12. 3. 5　尘埃的防治措施有哪些？ …… 506
12. 3. 6　涂装作业场所的通风原则是什么？ …… 506
12. 3. 7　什么是局部排风？ …… 507
12. 3. 8　局部排风系统的建立程序是什么？ …… 508

12.3.9　什么是全面排风？ …… 508
12.3.10　设计全面排风时有什么注意事项？ …… 508
12.3.11　如何计算全面排风系统的通风量？ …… 509
12.3.12　如何选择控制风速？ …… 509
12.3.13　条缝式排风罩如何选择控制风速？ …… 509
12.3.14　铝合金阳极氧化处理槽如何选择控制风速？ …… 510
12.3.15　涂漆预处理作业场所通风方法是什么？ …… 510
12.3.16　涂装作业工作台如何局部排风？ …… 511
12.3.17　涂装作业场所采用什么措施通风？ …… 511
12.3.18　清理设备的通风量有什么要求？ …… 512
12.3.19　如何计算清理室室体的通风量？ …… 513
12.3.20　怎样划定爆炸危险区域？ …… 514
12.3.21　车间布置设计时的安全技术和防腐蚀问题有哪些注意事项？ …… 514
12.3.22　涂装车间对劳动安全卫生的要求？ …… 515
**12.4　涂装工艺技术经济指标** …… 515
12.4.1　涂装工艺有哪些技术指标？ …… 515
12.4.2　涂装车间设计主要数据和技术经济指标是什么？ …… 516
12.4.3　涂装车间或工段的技术经济指标是什么？ …… 516
12.4.4　如何进行涂装设备的制造施工与验收？ …… 516
**12.5　涂装车间管理** …… 518
12.5.1　如何管理涂装车间的原材料？ …… 518
12.5.2　如何管理涂装车间的设备？ …… 519
12.5.3　如何进行现场管理？ …… 519
12.5.4　涂装工厂安全卫生的有关法规和标准有哪些？ …… 520
**参考文献** …… 521

# 第 1 章　涂装技术基础知识

## 1.1　涂料和涂装概论

### 1.1.1　什么是涂料和涂装?

涂料是一种粉末状态或流动状态的有机物质，把它涂布在物体表面上干燥固化后能形成一层薄膜，均匀地覆盖、良好地附着在物面上，不论其中是否含有颜料，统称为涂料。将涂料施工在被涂物体（金属或者非金属）表面，使之形成固体涂膜的生产过程通常称为涂装，或者称为涂料施工。涂装工艺一般由表面预处理（包括表面净化和化学处理）、涂布和干燥（包括烘干）三个基本工序组成。有时也将涂料在被涂物表面扩散开的操作称为涂装。涂料湿涂层的固化现象称为干燥，已干燥的涂料膜称为涂膜或涂层（涂层一般由两层以上的涂膜组成）。

### 1.1.2　涂装的目的是什么?

涂装的目的在于通过涂装施工，使涂料在被涂物表面形成牢固、连续的涂层，从而发挥其装饰、防护和特殊功能等作用。涂料涂装的主要功能如图 1-1 所示。

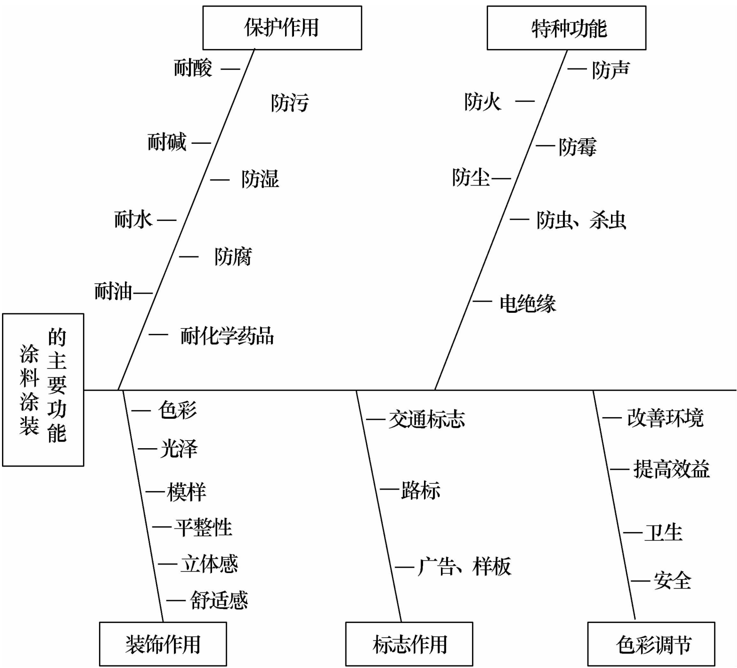



图 1-1　涂料涂装的主要功能

（1）对被涂物的防护作用　空气中的水分、酶、碱、盐、微生物及其他腐蚀性介质和紫外线等，易侵蚀产品裸露的基体，使其逐步损坏。产品经涂装后，涂料覆盖在其表面，形成层具有耐腐蚀的、牢固附着的连续涂层，使基体与腐蚀性介质隔离，从而防止或减缓因腐蚀而引起的损坏。

（2）对被涂物的装饰性作用　运用涂料颜色的多样性和涂装施工的技巧，可以根据使用者的习惯、爱好和市场的需求，使产品经过涂装而获得不同色彩、光泽、花纹等的装饰性层，使其外观或色泽鲜艳、光亮夺目，或色调丰满、明暗适度，或花纹多变、富有艺术性，给人们以赏心悦目的感觉，从而提高产品的附加值，扩大产品的应用范围。

（3）作为色彩标志　利用不同颜色的涂层作为区别事物的标志，在国际上已广泛采用并逐步标准化。各种管道、机械设备涂上不同颜色的涂料，可使操作者易于识别和操作；各种气体钢瓶、危险品、化学药品等涂上不同色彩的涂料，便于识别和安全保管使用；在道路划线标志和交通管制上，普遍采用不同色彩的涂层表示警告、危险、前进及停止等信号，以保证交通安全畅通。

（4）满足特殊用途的功能性　某些具有特殊组成的专用涂料形成的涂层，具有特殊的功能，如隔声、绝热、防火、防滑、防辐照、绝缘、伪装等功能，可以适应航天航空、舰船、核能和光纤、电器等装备和产品在特定环境中的使用要求等。

### 1.1.3　涂料的发展过程是怎样的?

涂料工业属于近代工业，但涂料本身却有着悠久的历史。中国是世界上最早使用天然树脂作为成膜物质涂料（大漆）的国家。早期的画家使用的矿物颜料，是水的悬浮液或使用水或清蛋白来调配的，这就是最早的水性涂料。真正懂得使用溶剂，用溶剂来溶解固体天然树脂，制得快干涂料是19世纪中叶才开始的。所以从一定意义上讲，溶剂型涂料的使用历史远没有水性涂料那么久远。最简单的水性涂料是石灰乳液，大约在100年前就曾有人计划向其中加入乳化亚麻仁油进行改良，这恐怕就是最早的乳胶漆。到了20世纪50年代，纯丙烯酸酯乳液在欧洲和美国就已经有销售，但是由于价格昂贵，其产量没有太大增加。进入20世纪60年代，在所有发展的乳状液中，最为突出的是醋酸乙烯酯-乙烯，醋酸乙烯酯与高级脂肪酸乙烯共聚物也有所发展，产量有所增加。20世纪70年代以来，由于环境保护法的制定和人们环境保护意识的加强，各国限制了有机溶剂及有害物质的排放，从而使油漆的使用受到种种限制。由于75%的制造油漆原料来自石油化工，而在全世界范围内普遍要求节约能源和节约资源，因此水性涂料，特别是乳胶漆，作为代油产品越来越引起人们的重视。水性涂料的制备技术进步很快，特别是乳液合成技术进步更快。

20世纪70～80年代，作为当代水性涂料的代表——乳胶漆得到了一定的发展，但推广应用却进入了低谷。从20世纪90年代至今，不仅是乳胶漆的性能质量大大提高，在价格上也慢慢被人们接受。特别是以荷兰、日本为首的多国大型涂料公司进入我国市场，真正揭开了现代水性涂料应用的新篇章。

### 1.1.4　涂装技术的发展过程是怎样的?

可把近一百年的涂装技术发展划分为三个时期。

第一时期可称为古典涂装时期。即涂装还处于手工涂装的阶段。在这一时期，被涂物的底材主要是钢铁和木材，采取手工作坊式涂装，涂料的种类和涂装方法都非常有限，常是手工刷涂油性漆，后期随着汽车工业的发展，以及硝基漆和醇酸树脂漆的出现，才开始采用手工空气喷涂。

第二时期称为工业涂装的出现和发展时期。在这一时期，涂料和涂装按各自的用途有了明确的区分，根据各种用途开发的涂料及涂装技术也获得实际应用。在这一时期主要是研究和开发能满足各种底材和预定要求性能的涂料和涂装工艺，以及涂料和涂装两者结合的合理化（如靠延长漆膜使用寿命来延长重新涂装间隔期，缩短涂装时间，减轻劳动强度和节省劳动力等），力求花费最小的涂装成本来得到最大的涂装效果，故又称为涂装工程时期。在涂料的原材料方面，则以石油化学工业为基础，开发了多种合成树脂涂料（故又称为合成树脂涂料时期）。静电喷漆、高压无空气喷涂、电泳涂装、烘干（热风对流烘干、辐射烘干、远红外线烘干、光固化）等涂装技术也获得广泛采用，因而使手工涂装逐渐减少，趋向完全的工艺流程的流水线涂装。

第三时期称为社会化时期。随着国民经济的高度增长和工业的高速发展，资源紧张和三废污染成了世界各国重视的社会问题。涂料制造和涂装行业是资源耗量很大的工业领域，又是大气和水质的污染源之一。所以这一时期主要的目标是：在保持涂装工程化，用最小的涂装成本达到最大功能的同时，必须探索采用能满足社会要求的高资源利用率、能避免或防治环境污染的涂料和涂装工艺。

## 1.2　涂装的基本要素、分类及特点

### 1.2.1　涂装的基本要素是什么？

涂装有三大基本要素，即涂装材料、涂装方法与设备、涂装工艺与工艺管理。

优质的涂料、先进的涂装装备是获得优质涂层的基本条件，是涂装实现优质、高效、经济的保证，但涂层的最终质量要靠涂装工艺与工艺管理来实现。

对涂料来说，不仅要从其品质和价格考虑，而且要从工艺与工序管理的角度考查其配套性（涂料与涂装方法的配套等）和作业性。如果涂料配套性存在问题或作业性差，工艺过程就会存在缺陷，涂层质量难以达到预期要求。

涂装设备不仅要具备效率高、价格低廉的特点，还应具有操作与维护简便、安全可靠的条件。如果设备操作繁琐复杂，技术要求苛刻，质量管理的可行性就差，涂层质量也难以保证；如果设备安全性、可靠性差，则易发生事故，造成工艺过程不能正常进行。涂装工艺和工艺管理存在的问题，会导致被涂工件涂膜质量降低，同时使得工件的返修率和废品率升高，运行费用和成本增加，经济效益恶化，影响产品的正常生产。

因此，被涂工件要获得质量高的涂膜，不仅需要优质的涂料和先进的涂装装备，还要靠合理的工艺与良好的工艺管理来配合，彼此间密切联系，这三个要素构成了涂装技术系统全面的知识体系，即涂装工艺学（包括涂料特性与选用、涂装预处理、涂装方法、涂膜干燥、涂装工艺过程及管理等内容）。

### 1.2.2 涂装是怎样分类的?

（1）按被涂物的材质分　分为金属涂装（黑色金属涂装、有色金属涂装）和非金属涂装（木工涂装、混凝土表面涂装、塑料涂装等）。

（2）按被涂物的范围分　由于被涂物的性能要求、使用环境和生产方式等不同，所采用的涂料和涂装工艺也各不相同，尤其是工业制品千差万别，所以在工业涂装中一般均按产品名称来分类，例如：汽车涂装、船舶涂装、飞机涂装、铁道车辆涂装、轻工产品涂装（自行车、缝纫机等）、家用电器涂装（洗衣机、电冰箱、电视机、电风扇等）、仪器涂装、家具涂装、桥梁涂装、建筑涂装、机床和机电产品涂装等。

（3）按涂层的性能和用途分　分为装饰性涂装（分高级、中级和一般装饰涂装）、装饰防腐涂装、防腐蚀涂装（分为一般防腐蚀涂装和重防腐蚀涂装）、电气绝缘涂装、防声涂装等。

（4）按涂装生产方式分　分为家庭涂装（以手工作业、自然干燥为主）、结构物、建筑物涂装（在现场施工，作业环境差，自然干燥）、工业涂装（涂装工艺已形成工业生产的流程，流水作业生产，涂装的机械化、自动化程度较高，漆膜干燥一般采用烘干方式）。

（5）按涂装方法分　分为手工涂装、静电涂装、电泳涂装、粉末涂装等。各种涂装均有各自的特点，所采用的涂料和涂装方式也有较大的差异，涉及面很广。

### 1.2.3 各种涂装方法有何特点?

（1）刷涂　是绝大多数涂料都适用的最原始、最简单的涂装方法，适合涂装各种形状的物体。刷涂时，涂料可以容易地渗透到金属表面的细孔里，因此在金属表面有较强的附着力。刷涂用到的工具有各种毛刷、砂纸、刮子等，价格便宜，适应性好。刷涂的缺点是纯手工操作，生产效率低，劳动强度大，表面平整性较差，涂层质量难以统一，在工业生产中已被淘汰。

（2）喷涂　是一种普遍使用的工业化涂装方法，其原理是将涂料喷涂成细小的雾滴并送到工作表面，具有涂层质量均匀、工业化生产效率高的特点。喷涂的缺点是涂料的损耗率高，溶剂大量挥发，危害施工人员的身体健康，对环境亦有较大的影响。目前常用的方式有压缩空气喷涂、高压无气喷涂、混气喷涂、旋杯喷涂等。

（3）电泳法　即电沉积涂漆，是将被涂工件作为一个电极浸在水溶性涂料的漆槽中，通直流电使涂料沉积在工件表面形成致密涂层。该过程同时包含了电泳、电解、电沉积和电渗析四个物理过程。由于涂料树脂在水中离解的粒子所带正负电荷的不同，电泳又可分为阳极电泳和阴极电泳两种。电泳涂装效率高，可大批量生产，节省资源，危害小，涂层均匀一致、附着力强，允许加工形状复杂的工件。电泳法的缺点是涂膜较薄、设备复杂、投资高。

（4）静电喷涂法　利用高压静电场进行喷涂，生产效率高，可连续自动化生产，涂层质量均匀，用于大规模的生产，但缺点是不易喷涂到工件内部及死角，劳动保护性差。

### 1.2.4 常用的喷涂方法各有什么特点?

常用的方法有压缩空气喷涂、高压无气喷涂、混气喷涂、旋杯喷涂等，四种喷涂方

法的比较见表 1-1。

**表 1-1　四种喷涂方法的比较**

| 喷 涂 方 法 | 喷 涂 特 点 |
|---|---|
| 空气喷涂 | 空气喷涂是用压缩空气使涂料喷涂成细小的雾滴并在气流带动下喷涂到工件表面。其特点为:<br>1）表面喷涂效果好<br>2）穿透力强<br>3）涂料传递效率低<br>4）高的压缩空气消耗量<br>5）可以实施静电高压或者不实施静电高压<br>空气喷涂现分为:传统空气喷涂,大流量低压力（HVLP）喷涂 |
| 无气喷涂 | 无气喷涂是高压流体通过窄小的喷嘴小孔而产生喷涂效果。其特点为:<br>1）涂膜质量较一般<br>2）流量大,产能高<br>3）传递效率高<br>4）喷嘴尺寸决定喷幅大小 |
| 混气喷涂 | 集无气喷涂与空气喷涂的技术,既有空气喷涂良好的表面质量,又有无气喷涂较高的工作效率和传递效率。其特点为:<br>1）极高的油漆传递效率,可达到 80%<br>2）极佳的喷涂效果和表面质量<br>3）几乎无过喷,减少喷房维护<br>4）极低的空气消耗量和能源消耗 |
| 旋杯喷涂 | 旋转杯头在涡轮的驱动下高速旋转,产生离心力使涂料喷涂成细小均匀的颗粒,从而赋予工件极高的表面质量。其特点为:<br>1）极高的表面质量,均匀的漆膜厚度<br>2）极高的涂料传递效率,可达 85% 以上<br>3）维修简便快捷<br>4）清洗换色简单 |

# 1.3 涂装的环境要求

## 1.3.1 适宜的涂装环境对采光和照明有什么要求?

在涂装操作区域要有适当的亮度，但应避免阳光直射，以利操作。适当的涂装作业照度见表1-2。车间照度取决于窗户采光、照明和室内物在涂装车间内涂料调配间的亮度等。

表1-2 不同类别涂装作业照度

| 涂漆作业类别 | 操作内容 | 照度/lx |
|---|---|---|
| 精密 | 手工涂漆、汽车面漆、漆膜检查等 | 800~300 |
| 较精密 | 一般产品、车辆、木器涂漆等 | 300~150 |
| 普通 | 预处理等 | 150~70 |

车间尽可能自然采光，可设置窗户、天窗引入自然光，窗户面积为照射地面的1/5以上时，采光效果较好。按工业企业采光设计标准，涂装车间采光等级属于N级，室内自然光照度不应低于50lx。在不能采用自然光的场合可用人工照明，但整体的照明亮度必须均匀。在涂层检查、喷涂室、修补涂层等精细操作工位，还应使用局部照明。为了便于正确识别颜色，这些工位宜采用天然日光色光源或天然白色光照明。在一般场合就采用普通荧光灯即可。

建筑物表面采用较高反射率的材料，其功能是提高室内照明度，使天花板反射率在85%以上，墙壁上为60%~70%，地面为20%~30%。

## 1.3.2 适宜的涂装环境对温度和湿度有何要求?

空气的温度和湿度对涂层的性能影响较大，掌握不当，就会使涂层产生种种弊病。气温在5℃以下时，涂料干燥极慢；相对湿度在85%以上时易产生涂层发白现象，使涂膜性能下降。应当避免在寒冷、高湿场合进行涂装。不同涂料由于它们的挥发性能和施工性能不同，要求涂装时的温度、湿度也不同。不同涂料涂装的适宜温度、湿度见表1-3。

表1-3 不同涂料涂装的适宜温度、湿度

| 涂料名称 | 温度/°C | 相对湿度(%) | 备注 | 涂料名称 | 温度/°C | 相对湿度(%) | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 油性漆 | 15~35 | ≤85 | 低温不好 | 聚酰胺固化环氧涂料 | 15~30 | ≤85 | 气温高好 |
| 醇酸树脂涂料 | 10~30 | ≤85 | 气温高好 | 聚氨酯涂料 | 5~30 | ≤70 | 过湿不好 |
| 硝基漆 | 15~20 | ≤70 | 低温过湿不好 | 水性乳胶涂料 | 15~35 | ≤75 | 低温过湿不好 |
| 改性胺固化环氧涂料 | 10~30 | ≤85 | 气温高好 | | | | |

另外，底材应很好地干燥，底材表面温度较气温低时易结露，底材表面温度应比大气高1~2℃，结露则必须烘干。

静电喷涂时，温度以低为好，高湿度易漏电，电压显著下降。高温高湿时，粉末涂料易结块。高装饰涂装要求温度、相对湿度恒定，否则易影响到涂层厚度、干燥、平滑度、光泽和颜色的均匀性。最适宜的工作条件是在 20℃ 以上，相对湿度在 75% 以下，必要时应设置调温调湿除尘装置。

### 1.3.3　适宜的涂装环境对空气清洁度有什么要求？

空气中的尘埃直接影响到涂层的外观质量，特别是对涂布烘烤型涂料场合，影响很大。为了得到优良的涂膜，必须采用适当的防尘措施。

一般应设法除去 10μm 以上的尘埃，涂装车间对尘埃的许可程度见表 1-4。

**表 1-4　涂装车间尘埃许可程度**

| 类　别 | 举　例 | 粒径/μm | 粒数/(个/$cm^3$) | 尘埃量/($mg/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| 一般涂装 | 建筑物、防腐涂层 | <10 | <600 | <7.5 |
| 装饰性涂装 | 汽车、仪器仪表 | <5 | <300 | <4.5 |
| 高级装饰性涂装 | 轿车 | <3 | <100 | <1.5 |

### 1.3.4　适宜的涂装环境对通风换气有什么要求？

涂装车间由于溶剂挥发量大，要求通风换气，这样有利于涂料干燥，也有利于安全卫生，使车间中各种有害物质的浓度控制在国家规定的允许浓度以下，确保操作工人的身体健康。

涂装车间的通风量按每小时换气 6～10 次确定，则

$$车间通风量 = [车间空间(m^3)]/6\sim10(m^3/h)$$

通风量也可根据溶剂的挥发量来确定。一般溶剂的挥发扩散速度不大于 0.1m/s，则在刷涂和浸涂工作间内的空气流速度不大于 0.3～0.5m/s；喷涂时，空气流速不小于 0.8～1.0m/s，以免涂料雾吸入肺部，但不宜过大，否则涂料雾飞散，涂料损耗大。在室外喷涂时，风速以 1.6～3.4m/s 为宜。有喷涂室的喷涂室通风量参见喷涂室标准计算。

### 1.3.5　适宜的涂装环境对防火防爆有什么要求？

涂装过程中挥发大量的溶剂蒸气，遇明火易爆炸和燃烧。易燃溶剂危险性通常分为两级。

一级：闪点小于 28℃，高度挥发性和燃烧性，如汽油、丙酮、二甲苯都属于此类。

二级：闪点在 28～45℃之间，如煤油、松节油等，易燃性低于一级。

因此涂装车间应进行一级防火，电器设备全部采用防爆型，并配套足够的灭火装置。建筑物应有防火结构，并至少有两处以上的出口。

在电源中断、排风停止、涂料管路损坏引起涂料流淌到地面上时，易燃物大量扩散到空间中，出现紧急状态。紧急状态时的危险程度可按下式计算

$$V_p = 10\sum P/C_{min}^0$$

式中　$V_p$——易燃易爆混合物体积（$cm^3$）；

$\sum P$——危险状态时，散发到空气中的溶剂蒸气量总和（g）；

$C^0_{min}$——溶剂蒸气爆炸下限（g/cm³）；

10——安全系数。

房间有限空间（$V'$）等于车间体积（$V$）扣除设备占有体积，大约为

$$V' = 0.8V$$

若 $V_p/V' > 0.05$，那么整个房间有爆炸危险。

若 $V_p/V' < 0.05$，那么以溶剂散发点为中心的半径5m范围内有爆炸危险，其余区域正常。

在面积大于500m² 的涂装车间、涂料调配间和涂料仓库中，都应有自动安全防火设施。在喷涂室、烘干室、涂料调配室和仓库等危险区域里，设监测传感元件，30s内即能启动 $CO_2$ 的消防系统，按5min内蒸气充满房间来设定 $CO_2$ 瓶数量和喷射嘴数目。

### 1.3.6 适宜的涂装环境对涂装车间地面有什么要求？

涂装车间地面应涂覆耐化学性的塑胶涂层，便于冲洗，满足涂装车间的整洁、彻底无尘化要求。由于塑胶涂层价格较高，也可参见表1-5进行选择。

**表1-5 涂装车间各作业点地面要求**

| 序号 | 工位 | 一般要求 | 较高要求 |
|---|---|---|---|
| 1 | 涂装前处理 | 小磨石 | 瓷砖 |
| 2 | 涂底漆、刮腻子、打磨 | 高标准水泥 | 小磨石 |
| 3 | 酸洗处理 | 花岗岩石板 | 耐酸瓷砖 |
| 4 | 面漆和罩光 | 水磨石 | 瓷砖 |
| 5 | 电泳涂装 | 水泥 | 水磨石 |
| 6 | 零件库 | 水泥 | 木板 |
| 7 | 化学品库 | 水泥 | 瓷砖 |

# 第 2 章　常 用 涂 料

## 2.1　涂料的组成和作用

### 2.1.1　涂料由哪些组分组成？

涂料是由成膜物质、分散介质（溶剂）、颜料和填料及助剂组成的复杂多相分散体系（见图 2-1），经适当的涂装工艺能转变成具有一定物理力学性能的涂层，发挥保护和装饰的作用。涂料的各种组分在形成涂层过程中发挥各自的作用。

在某些关于涂料的图书中，有的把涂料的组成分为三个部分：主要成膜物质、次要成膜物质和辅助成膜物质。

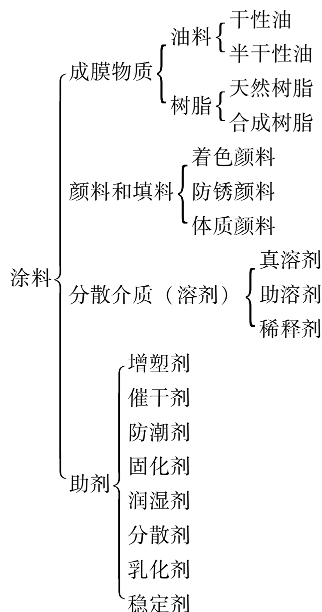


图 2-1　涂料组成分类

### 2.1.2　涂料组成有何特性？

1）主要成膜物质包括（半）干性油、天然树脂、合成树脂等，它是涂料中不可缺少的成分，涂膜的性质也主要由它所决定，故称为基料。其中合成树脂的品种多、工业生产规模大、性能好，是现代涂料工业的基础。这些合成树脂包括：酚醛树脂、环氧树脂、醇酸树脂、丙烯酸树脂、氨基树脂、聚氨酯树脂、聚酯树脂、乙烯基树脂、氟碳树脂及氯化烯基树脂等。由这些树脂配成的涂料，在防腐蚀保护和耐候性方面各有侧重，并有低档、中档及高档之分，以满足国民经济各领域产品的涂装要求。

2）次要成膜物质包括颜料和填料、功能性材料添加剂，它自身没有形成完整涂膜的能力，但能与主要成膜物质一起参与成膜，赋予涂膜色彩或某种功能，也能改变涂膜的物理力学性能。颜料和填料包括防锈颜料、着色颜料和体质颜料三大类。

3）辅助成膜物质包括稀释剂和助剂。稀释剂由溶剂、非溶剂和助溶剂组成。溶剂直接影响到涂料的稳定性、施工性和涂膜质量：①选用的溶剂应该赋予涂料适当的粘度，使之与涂料施工方式相适应；②应保持溶剂在一定的挥发速度下与涂膜的干燥性相适宜，使之形成理想的膜层，避免出现泛白、失光、桔皮、针孔等涂膜缺陷；③应增加涂料对物体表面的润湿性，赋予涂膜良好的附着力。

### 2.1.3　涂料成膜物质有哪些？

有一类成膜物质在成膜过程中其组成结构不发生变化，即成膜物质与涂膜的组成结

构相同，称为非转化型成膜物质，它们具有热塑性，受热软化，冷却后又变硬，多具有可溶解性，即为可溶可熔的物质，属于这类成膜物质的有天然树脂、人造树脂及合成的高分子线型聚合物树脂，如过氯乙烯树脂、聚醋酸乙烯树脂。用于涂料的热塑性树脂与用于塑料、纤维橡胶、粘合剂的同类品种，在组成、相对分子质量和性能上都不相同。

另一类成膜物质在涂料成膜过程中其组成结构发生变化，即成膜物质形成与其原来组成结构不相同的涂膜，这类成膜物质称为转化型成膜物质。它们具有能起化学反应的官能团，在热、氧或其他物质的作用下能够聚合成与原有组成结构不相同的不溶不熔的网状结构高聚物，即热固性高聚物。属于这类成膜物质的有：来源于植物油脂的干性油、半干性油，它们是具有一定数量的官能团的低分子化合物；天然漆和漆酚也属于含有活性基团的低分子化合物；低分子化合物的加成物和反应物，如多异氰酸酯的加成物；合成聚合物，这种类型很多。属于低聚合度低相对分子质量的聚合物有：聚合度为 5～15 的齐聚物、低相对分子质量的预聚物和低相对分子质量的缩聚型树脂，如酚醛树脂、醇酸树脂、聚氨酯预聚物、丙烯酸酯齐聚物等。还有属于线型高聚物的合成树脂，如热固性丙烯酸树脂等。另外还有多种新型聚合物，如集团转移聚合物和互穿网络聚合物等。

目前涂料的成膜物质，经常是采用几种树脂品种互相拼用，以利于互相改性，是使涂料性能更加完美，以适应多方面性能需求。

### 2.1.4 着色颜料有哪些？

1. 无机颜料

（1）白色无机颜料　二氧化钛、锌钡白、氯化锌、铅白、锑白等是常用的白色无机颜料。

（2）黄色无机颜料　铬黄、锌铬黄、氧化铁黄、镉黄等是常用的黄色无机颜料。

（3）蓝色无机颜料　铁蓝、群青是常用的蓝色无机颜料。

（4）红色无机颜料　氧化铁红、红丹是常用的红色无机颜料。

（5）绿色无机颜料　铅铬绿、氧化铬是常用的绿色无机颜料。

（6）黑色无机颜料　氧化铁黑、炭黑、铬铁黑是常用的黑色无机颜料。

2. 有机颜料

（1）黄色无机颜料　黄色无机颜料种类有耐晒黄、联苯胺黄 G、永固桔黄 G。

（2）红色无机颜料　红色无机颜料种类甲苯胺红、大红粉、甲苯胺紫红。

（3）蓝色无机颜料　蓝色无机颜料主要有酞菁蓝 BS。

（4）绿色无机颜料　绿色无机颜料主要有酞菁绿 G。

### 2.1.5 常用体质颜料有哪些？

（1）重晶石粉和沉淀硫酸钡　重晶石粉是天然重晶石矿研磨粉碎后的产品，其硬度高、稳定性好、耐酸、耐碱。用化学方法合成的硫酸钡粉与天然重晶石粉的性能相似，也可以作为填料，常称为沉淀硫酸钡。

（2）滑石粉　滑石粉是天然矿石粉，是片状和纤维状两种结构形态的混合物。纤维状的结构能对涂膜起到增强作用，增加涂膜的柔韧性；片状结构可提高涂膜的屏蔽效

果，能减少水分对涂膜的穿透性。滑石粉还可改善涂料的施工性能。

（3）瓷土　瓷土又称高岭土，为天然矿物，其主要成分是水合硅酸铝，为细微的鳞片状或柱状晶体结构，常在溶剂型涂料中用作填料，但用量不可太多，因为它的颗粒细用量过多时对涂料的流动性有不利的影响。

（4）碳酸钙　碳酸钙有天然的和合成的两种，天然碳酸钙又称为老粉、重质碳酸钙、石粉、太白粉，是天然石灰石矿粉碎而成的。合成碳酸钙的颗粒微细，其吸油量大，不耐有机酸，因此不宜用于酸性环境中。

（5）云母粉　云母是片状的硅酸铝钾天然矿物经粉碎研磨形成，其结构为片状，有优良的屏蔽效应，能显著减少水在涂膜中的渗透性能，同时还可提高涂膜的耐候性。

（6）石英粉　石英粉是由天然石英石研磨制成，其结构为三方晶系，常呈六方柱和六方双锥形晶体，性能较为稳定，常在耐酸耐磨涂料中作为填料使用。

### 2.1.6　防锈颜料主要有哪些?

（1）无机盐防锈颜料　无机盐防锈颜料主要有红丹、铬酸锌（钾）、磷酸锌、四盐基铬酸锌、碱式硅铬酸铅、铅酸钙等。

（2）金属粉防锈颜料　这类防锈颜料主要有锌粉、铝粉和不锈钢粉。

## 2.2　涂料的分类和命名

### 2.2.1　涂料的分类方法有哪些?

1）按涂料形态分类有溶剂型涂料、水性涂料、无溶剂型涂料、高固体分涂料、粉末涂料及非水分散涂料等。

2）按涂料成膜工序分类有底漆、二道底漆（或二道浆、封底漆）、面漆、腻子、罩光漆等。

3）按涂膜功能分类有防腐漆、防锈漆、防污漆、绝缘漆、导电涂料、耐高温涂料等。

4）按涂料用途分类有建筑涂料、维护涂料和工业用涂料等。工业用涂料包括汽车涂料、飞机涂料、船舶涂料、塑料涂料、皮革涂料、木器涂料、纸张涂料、卷材涂料等工业化涂装用涂料。

5）按涂料所含颜料情况分类有清漆、厚漆、磁漆等。磁漆即为面漆，分有光、半光和无光等三种。

6）按涂料的成膜机理分类有转化型涂料和非转化型涂料。转化型涂料包括气干性涂料、固化剂固化涂料、烘烤涂料及辐射固化涂料等；非转化型涂料是热塑性涂料，包括挥发性涂料、热塑性粉末涂料、乳胶漆、热塑性溶胶等。

7）按施工方法分类有喷漆、电泳漆、浸漆、烘漆及自泳涂料等。

8）按成膜物质分类，根据化工部颁布的涂料按主要成膜物质分类的方法（GB/T 2705—2003《涂料产品分类和命名》），共分成18类。其大类区分如下：油脂漆、天然树脂漆、酚醛树脂漆、沥青漆、醇酸树脂漆、氨基树脂漆、硝基漆、纤维素漆、过氯乙烯漆、烯树脂漆、丙烯酸漆、聚酯漆、环氧树脂漆、聚氨酯漆、元素有机漆、橡胶漆、

其他漆种等，以及第 18 种辅助材料。

涂料和辅助材料的分类及其对应的代号见表 2-1 和表 2-2。

**表 2-1 涂料的类别及代号**

| 序　　号 | 代　　号 | 涂料产品类别 | 代表性成膜物质 |
|---|---|---|---|
| 1 | Y | 油脂涂料 | 动植物油、清油、合成干性油 |
| 2 | T | 天然树脂涂料 | 松香、虫胶、大漆等 |
| 3 | F | 酚醛树脂涂料 | 酚醛、改性酚醛、二甲苯树脂 |
| 4 | L | 沥青树脂涂料 | 沥青、煤焦沥青、石油沥青等 |
| 5 | C | 醇酸树脂涂料 | 甘油、醇酸树脂等 |
| 6 | A | 氨基树脂涂料 | 脲、甲醛、改性醇酸树脂等 |
| 7 | Q | 硝基涂料 | 硝化、改性硝化纤维素 |
| 8 | M | 纤维素涂料 | 乙酸、苄基、乙基、醋丁纤维 |
| 9 | G | 过氯乙烯涂料 | 过氯乙烯树脂等 |
| 10 | X | 乙烯树脂涂料 | VAGH、聚苯乙烯、石油树脂等 |
| 11 | B | 丙烯酸树脂涂料 | 丙烯酸树脂、丙烯酸共聚物等 |
| 12 | Z | 聚酯树脂涂料 | 饱和聚酯、不饱和聚酯 |
| 13 | H | 环氧树脂涂料 | 环氧树脂、改性环氧树脂等 |
| 14 | S | 聚氨酯涂料 | 顶聚物、多异氰酸酯等 |
| 15 | V | 元素有机聚合物涂料 | 有机硅、有机钛、有机铝等 |
| 16 | J | 橡胶涂料 | 天然橡胶、合成橡胶等 |
| 17 | E | 其他涂料 | 无机高聚物、聚酰亚氨树脂等 |
| 18 | | 辅助材料 | |

注：天然树脂涂料包括有天然资源所生成的物质及经过加工处理后的物质。

**表 2-2 辅助材料分类及代号**

| 代　　号 | 产 品 名 称 | 代　　号 | 产 品 名 称 |
|---|---|---|---|
| X | 稀释剂 | T | 脱漆剂 |
| F | 防潮剂 | H | 固化剂 |
| G | 催化剂 | | |

### 2.2.2 我国涂料产品的命名原则是什么？

涂料的全名称构成：颜色或颜料名称 + 主要成膜物质名称 + 基本名称。

1）颜色或颜料名称命名的主要原则是：①涂料的颜色位于名称的最前面；②如果颜料对涂膜性能起显著作用，则可用颜料的名称代替颜色的名称，仍置于涂料名称的最前面，例如锌黄醇酸调合漆。

2）成膜物质名称均作适当简化。如果基料中含有多种成膜物质时，选取起主要作

用的一种成膜物质命名，必要时可以选取两种成膜物质命名（主要成膜物质名称在前，次要成膜物质名称在后），如氨基醇酸漆。

3）基本名称仍采用我国已广泛使用的名称。例如清漆、木器漆、调合漆、磁漆等。

4）在成膜物质和基本名称之间，必要时可标明专业用途、特性等。

5）凡是需加热固化的漆，在基本名称之前要标明“烘干”二字或“烘”字样，例如：氨基烘干磁漆；如果名称中没有“烘干”、“烘”这些字样，则表示常温干燥或烘烤干燥均可。

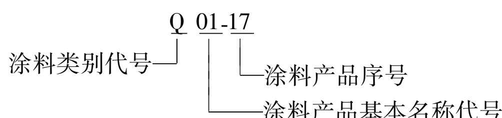
6）除粉末涂料外，其他涂料命名时用“漆”，在统称时用“涂料”。

### 2.2.3　涂料的型号有何含义？

由于涂料的种类很多，为了避免实际使用的混淆，对涂料要采取统一的标准进行规范。对每一种涂料根据其组成、特性及应用给以特定的型号，以便于生产中区分。

1. 涂料的型号

为了统一和简化，每一类涂料都有一个确定的型号，具体的涂料型号由涂料类别、涂料基本名称和序号三部分构成。例如：




（1）第一部分　涂料类别，用一个汉语拼音字母表示，涂料的类别与代号见表2-1。

（2）第二部分　涂料基本名称，用两位数字表示，涂料基本名称代号见表2-3。

**表2-3　涂料基本名称代号**

| 代号 | 基本名称 | 代号 | 基本名称 |
|---|---|---|---|
| 00 | 清油 | 16 | 锤纹漆 |
| 01 | 清漆 | 17 | 皱纹漆 |
| 02 | 厚漆 | 18 | 裂纹漆 |
| 03 | 调合漆 | 19 | 晶纹漆 |
| 04 | 磁漆 | 20 | 铅笔漆 |
| 05 | 粉末涂料 | 22 | 木器漆 |
| 06 | 底漆 | 23 | 罐头漆 |
| 07 | 腻子 | 24 | 家电用漆 |
| 08 | 水性涂料 | 26 | 自行车漆 |
| 09 | 大漆 | 27 | 玩具漆 |
| 11 | 电泳漆 | 28 | 塑料用漆 |
| 12 | 乳胶漆 | 30 | (浸渍)绝缘漆 |
| 13 | 其他水溶性漆 | 31 | (覆盖)绝缘漆 |
| 14 | 透明漆 | 32 | (绝缘)磁漆 |
| 15 | 斑纹漆 | 33 | (粘合)绝缘漆 |

（续）

| 代号 | 基 本 名 称 | 代号 | 基 本 名 称 |
|---|---|---|---|
| 34 | 漆包线漆 | 64 | 可剥漆 |
| 35 | 硅钢片漆 | 65 | 卷材涂料 |
| 36 | 电容器漆 | 66 | 光固化涂料 |
| 37 | 电阻漆、电位器漆 | 67 | 隔热涂料 |
| 38 | 半导体漆 | 77 | 内墙涂料 |
| 39 | 电缆漆、其他电工漆 | 78 | 外墙涂料 |
| 40 | 防污漆、防蛆漆 | 79 | 屋面防水涂料 |
| 41 | 水线漆 | 80 | 地板漆、地坪漆 |
| 42 | 甲板漆、甲板防滑漆 | 82 | 锅炉漆 |
| 43 | 船壳漆 | 83 | 烟囱漆 |
| 44 | 船底漆 | 84 | 黑板漆 |
| 45 | 饮水舱漆 | 85 | 调色漆 |
| 46 | 油舱漆 | 86 | 标志漆、马路划线漆 |
| 47 | 车间(预涂)底漆 | 87 | 汽车漆(车身) |
| 50 | 耐酸漆、耐碱漆 | 88 | 汽车漆(底盘) |
| 52 | 防腐漆 | 89 | 其他汽车漆 |
| 53 | 防锈漆 | 90 | 汽车修补漆 |
| 54 | 耐油漆 | 93 | 集装箱漆 |
| 55 | 耐水漆 | 94 | 铁路车辆用漆 |
| 60 | 防火漆 | 95 | 桥梁漆、输电塔及钢结构用漆 |
| 61 | 耐热漆 | 96 | 航空、航天用漆 |
| 62 | 示温漆 | 98 | 胶液 |
| 63 | 涂布漆 | 99 | 其他 |

注：00 ~ 13 代表基本涂料品种；14 ~ 19 代表美术漆；20 ~ 28 代表轻工用漆；30 ~ 39 代表绝缘漆；40 ~ 47 代表船舶漆；50 ~ 55 代表防腐漆；60 ~ 79 代表特种漆；80 ~ 99 代表其他用途漆。

（3）第三部分　涂料品种代号，用一位或二位数字表示同类涂料品种之间的组成、配比、性能、用途的不同，见表 2-4。

**表 2-4　涂料品种代号**

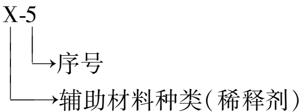
| 涂 料 品 种 | | 代　　号 | |
|---|---|---|---|
| | | 自　　干 | 烘　　干 |
| 清漆、底漆、腻子 | | 1 ~ 29 | 30 以上 |
| 磁漆 | 有光 | 1 ~ 49 | 50 ~ 59 |
| | 半光 | 60 ~ 69 | 70 ~ 79 |
| | 无光 | 80 ~ 89 | 90 ~ 99 |

（续）

| 涂料品种 | | 代号 | |
|---|---|---|---|
| | | 自干 | 烘干 |
| 专业用漆 | 清漆 | 1～9 | 10～29 |
| | 有光磁漆 | 30～49 | 50～59 |
| | 半光磁漆 | 60～64 | 65～69 |
| | 无光磁漆 | 70～74 | 75～79 |
| | 底漆 | 80～89 | 90～99 |

2. 辅助材料型号

辅助材料型号由一个汉语拼音字母和1～2位阿拉伯数字组成，字母与数字之间有一短横线（读成“至”）。例如：




字母表示辅助材料的类别，数字表示辅助材料的序号，用以区别同一类型的不同品种。辅助材料分类及代号见表2-2。

型号名称示例如下：

H-15　不饱和聚酯树脂漆固化剂；X-6　酚醛清漆稀释剂。

## 2.3　涂料品种简介

### 2.3.1　常用涂料有哪些品种？

（1）油脂涂料　以植物油（如桐油、亚麻油、梓油、豆油和蓖麻油等）和动物油（如鱼油等）为成膜物的涂料产品。使用时需加催干剂，在空气中干燥。

（2）天然树脂涂料　以植物油和天然树脂（主要是松香衍生物、虫胶、大漆等）经熬炼后制得的漆料，再加入溶剂、催干剂、颜料和填料配制成的涂料产品。可自干或低温烘干。

（3）酚醛树脂涂料　以酚醛树脂为主要成膜物质的涂料。可自干或烘干。

（4）沥青涂料　以各种沥青为主要成膜物质的涂料。可自干或烘干。

（5）醇酸树脂涂料　涂料用的各种醇酸树脂是由各种多元醇、多元酸和油类（干性油、半干性油、不干性油）经缩聚反应制得。可自干和低温烘干。

（6）氨基树脂涂料　此类涂料是氨基树脂和醇酸树脂配合而成的一类涂料，兼具两者的优异性能。烘干为主。

（7）硝化纤维素涂料　此类涂料是以硝化棉为主并加有增塑剂和树脂（如甘油松香、醇酸或氨基）等配制的涂料。自干或烘干，自干为主。

（8）纤维素涂料　此类涂料是指以除硝化棉以外的其他纤维素为主要成膜物质的

涂料。

（9）过氯乙烯树脂涂料　此类涂料是以过氯乙烯为主要成膜物质的涂料。

（10）乙烯树脂涂料　用烯类单体聚合或共聚制成的高相对分子质量树脂所制成的涂料。溶剂挥发干燥。

（11）丙烯酸树脂涂料　此类涂料树脂多是丙烯酸单体与苯乙烯共聚树脂聚合制成。可作单组分涂料，溶剂挥发；也可与其他树脂固化和烘干。

（12）聚酯树脂涂料　是以聚酯为主要成膜物质的涂料。

（13）环氧树脂涂料　此类涂料以环氧树脂为主要成膜物质。双酚 A 型环氧涂料最为常用，与聚酰胺等固化剂固化成膜，也有烘烤类型，可与多种树脂拼用。

（14）聚氨酯涂料　此类涂料是指分子中含有多氨基甲酸酯键的涂料。可自干或烘干。

（15）元素有机涂料　此类涂料是以各种元素有机化合物为主要成膜物质的涂料。需高温烘烤成膜。

（16）橡胶涂料　此类涂料是以天然橡胶衍生物或合成橡胶为主要成膜物质的涂料。其中有单组分溶剂挥发型涂料，也有双组分固化型涂料。

（17）其他类涂料（如无机富锌类）　这里是指上述十六类成膜物质以外的其他成膜物形成的涂料。

### 2.3.2　常用涂料有哪些特点？

1. 油脂涂料

（1）优点　具有一定的耐候性，可内用与外用，单组分，施工方便，涂刷性能好，渗透性强，价格低廉。

（2）缺点　干燥缓慢，涂膜软，不能打磨抛光，不耐酸碱溶剂和水，浸水膨胀。

2. 天然树脂涂料

（1）优点　某些（如大漆）具有特殊的耐久性、保光性、耐磨性、耐腐蚀性。干燥快，短油的坚硬易打磨，长油的柔韧性好。单组分，施工方便，价格低廉。

（2）缺点　短油树脂耐候性差，长油树脂不能打磨抛光，耐久性差。大漆施工操作复杂，毒性大。除大漆外，其他品种耐腐蚀性不佳。

3. 酚醛树脂涂料

（1）优点　干燥性好，耐磨，涂膜坚硬光亮，耐水、耐腐蚀性好，有一定的绝缘能力，单组分，施工方便。

（2）缺点　涂膜硬脆，颜色易泛黄变深，故很少用于制白漆，耐候性差。

4. 沥青涂料

（1）优点　抗水，耐潮，耐化学药品性好，耐酸碱，有良好的电绝缘性，成本低。煤焦沥青可与环氧树脂拼用，制成耐水等耐腐蚀性优异的环氧沥青防腐涂料。

（2）缺点　受温度影响大，冬天硬脆、夏天软粘，对强溶剂不稳定，贮存稳定性差。颜色深，有毒，只能制成深色漆。

5. 醇酸树脂涂料

（1）优点　涂膜丰满光亮、耐候性优良、施工方便，可采取多种施工方式，附着

力较好。价格较为低廉。可与多种类型的树脂拼用，制成性能优异的防腐涂料。如氯化橡胶醇酸涂料。

（2）缺点　涂膜较软，不宜打磨，耐碱性、耐水性欠佳，贮存稳定性不佳，易出现结皮等现象。干燥时间长，实干时间久。耐腐蚀性一般，在严酷腐蚀环境中，易起泡、脱落、变色。

6. 氨基树脂涂料

（1）优点　硬度高、保色、保光、耐候、涂膜光泽好，不泛黄、耐大气、盐雾和溶剂性好，耐热。色浅、可制白漆，耐腐蚀性优于醇酸树脂。

（2）缺点　柔韧性差，干燥时一般需烘烤，一般不单独使用。

7. 硝基纤维素涂料

（1）优点　干燥快，涂膜坚硬，装饰性好，并具有一定耐腐蚀性。

（2）缺点　易燃，清漆不耐紫外线，不能超过60℃使用，固体含量低，施工层次多，价格高。溶剂含量高，且多毒性大。

8. 纤维素涂料

（1）优点　干燥快、色浅、光泽好、耐候性好，保色性和柔韧性较好，且具有良好的丰满度，个别品种耐碱、耐热。

（2）缺点　附着力较差，耐潮湿性和耐溶剂性差，价格高。固体含量低，需多次涂装。

9. 过氯乙烯涂料

（1）优点　干燥快、施工方便，可采用多种施工方式，耐候性好、耐腐蚀、耐油、耐寒、耐热。

（2）缺点　附着力差，耐溶剂性差，硬度低、打磨抛光性差，固体含量低。硬干时间长。

10. 乙烯树脂涂料

（1）优点　耐冲击、耐汽油、耐腐蚀性优良，耐磨，色浅，不泛黄，柔韧性好。干燥好，有些品种可与其他树脂拼用制成高性能涂料。含氟树脂涂料耐候性优良。

（2）缺点　固体含量低，需强溶剂，污染环境，高温时易炭化，清漆不耐晒，附着力不佳。干燥后，需较长时间才能形成坚硬的涂膜。

11. 丙烯酸树脂涂料

（1）优点　涂膜色浅，耐碱性、耐候性、耐热性、耐腐蚀性好，附着力好，极好的装饰性。与聚氨酯等制成双组分涂料，耐候性优异。

（2）缺点　单组分涂料耐溶剂性差，固体含量低，耐湿热性能不佳、成本高。双组分涂料价格贵，对底材处理要求高。

12. 聚酯树脂涂料

（1）优点　附着力强，物理力学性能好，耐化学药品性优良，耐碱、耐油，具有较好的热稳定性和电绝缘性。可制成高固体分涂料。

（2）缺点　耐候性差，室外曝晒易粉化，保光性差，涂膜外观较差。双组分包装，使用不方便。

13. 环氧树脂涂料

（1）优点　固体含量高，涂膜光泽，柔韧性好，硬度高，耐磨、耐热、耐化学品性强。

（2）缺点　不饱和聚酯涂料多组分包装，使用不方便。涂膜需打磨、打蜡、抛光等保养，施工方法复杂，附着力不佳。

14. 聚氨酯涂料

（1）优点　耐磨，装饰性好，附着力强，耐化学药品性好，某些品种可在潮湿条件下固化，绝缘性好，制成的面漆耐候性优异。

（2）缺点　生产、贮存、施工等条件苛刻，有时层间附着力不佳，芳香族产品户外使用易泛黄，价格贵，底材预处理要求高。

15. 元素有机涂料

（1）优点　很好的耐高温、抗氧化、绝缘和耐化学药品性，耐候性强，耐潮。

（2）缺点　固化温度高，时间长，耐汽油性差，个别品种涂膜较脆，附着力较差，价格贵。

16. 橡胶涂料

（1）优点　氯化橡胶涂料，施工方便、干燥快、耐酸碱腐蚀，柔韧性、耐磨性、耐老化性、耐水性好。聚硫橡胶的耐溶剂和耐油性极佳；氯磺化聚乙烯耐各种氧化剂、涂膜柔软。品种不同，性能优点各异。

（2）缺点　氯化橡胶等单组分溶剂挥发型涂料，固体含量低、光泽不佳，清漆不耐曝晒，易变色，耐溶剂性差，不耐油。双组分涂料，贮存稳定性差，制造工艺复杂，有的需要炼胶。

### 2.3.3　常用涂料的应用范围有哪些?

（1）油脂涂料　属低级涂料，可对质量要求不高的建筑物、木材、砖石、钢铁等表面的单独涂饰或作打底涂料。

（2）天然树脂涂料　广泛用于低档木器家具、一般建筑、金属制品的涂装。

（3）酚醛树脂涂料　广泛用于木器家具、建筑、机械、电机、船舶和化工防腐蚀等。

（4）沥青涂料　广泛用于自行车、缝纫机等金属制品和需耐水防潮的木器、建筑、钢铁表面。

（5）醇酸树脂涂料　广泛用于汽车、玩具、机器部件、金属工业产品及户内外建筑和家具用品作面漆。底漆、面漆、清漆配套齐全。

（6）氨基树脂涂料　适用于涂装汽车、电冰箱、机具等钢质器具的涂装。有清漆、绝缘漆、烘漆、锤纹漆等品种，一般作高档装饰性涂料。

（7）硝基纤维素涂料　用于汽车、家具、乐器、文具、玩具、皮革织物和塑料等涂装。有清漆、磁漆、快干漆等品种。

（8）纤维素涂料　用于飞机蒙皮、纸张织物的涂料。

（9）过氯乙烯涂料　适用于化学防腐及外用、机床阻燃、电机防霉及飞机、汽车和其他工业品的表面涂装。

（10）乙烯树脂涂料　用于防腐、包装、纸张、织物及建筑工程等，广泛用于各种化工防腐、仪器仪表的内外表面。

（11）丙烯酸树脂涂料　适用于航空、汽车、机械、仪表、家用电器等内外表面的涂装，特别在用作面漆时，用途广泛。

（12）聚酯树脂涂料　饱和聚酯主要用作漆包线涂料；不饱和聚酯，用于涂装高级木器、电视机、收音机外壳。

（13）环氧树脂涂料　以其优异的耐腐蚀性，广泛用于工业制品、车辆、飞机、船舶、电器仪表、石化设备和各种油罐和管线的内部防腐。

（14）聚氨酯涂料　用于各种化工防腐蚀、海上设备、飞机、车辆、仪表等的涂装。广泛用于外防腐面漆的涂装。

（15）元素有机涂料　用于制造耐高温涂料、耐候涂料。

（16）橡胶涂料　用于船舶、水闸和耐化学药品涂料。如氯磺化聚乙烯涂料，用于篷布、内燃机发火线圈和水泥、织物、塑料等的涂装。丁基橡胶可做化学切割的不锈钢的防腐蚀涂层。丁腈橡胶用于涂覆食品包装纸防水、防油等。

（17）其他种类涂料（如无机富锌类）　无机富锌涂料广泛用于各种钢结构防腐，特别适合作为钢材的底漆等。环烷酸铜防虫涂料适用于木船、织物及木板涂装。无机硅酸盐涂料用作防火、耐高温涂层。

### 2.3.4　天然树脂涂料的分类有哪些?

（1）松香及其衍生物涂料　松香是从赤松、黑松等松树切开树干皮流出来的松脂经蒸馏提出松节油后而制得。松香为透明玻璃状脆性物质，颜色由浅黄到深褐色，有特殊的气味，不溶于水，能溶于乙醇、乙醚、丙酮、苯等有机溶剂。

（2）虫胶　又称为紫梗、紫胶、紫草茸，属于天然树脂的一种，它是在南亚热带的一种寄生昆虫产生的分泌物。加工精制的虫胶呈紫色至棕红色片状物，能溶于醇类、酮类及碱溶液中，微溶于酯类、烃类。它的技术要求见表2-5。

**表2-5　精制虫胶技术要求**

| | 特　级 | 甲　级 | 乙　级 | 丙　级 |
|---|---|---|---|---|
| 色素(碘比色计) | 10以下 | 15以下 | 15~30 | 35以下 |
| 水分 < | 2% | 2% | 2% | 2% |
| 蜡质 < | 5% | 5% | 5% | 5% |
| 乙醇不溶物 < | 2% | 5% | 5% | 5% |

注：表中百分数均为质量分数。

虫胶漆是虫胶溶于酒精中制得。它干燥快，涂刷方便，但耐水性差，漆膜容易发白，虫胶漆大多用于木制品和木制品涂装打底。

（3）生漆及其改性树脂　生漆俗称“大漆”又叫“天然漆”、“中国漆”，是剖取漆树树干所得的分泌物，主要产地是亚洲东部的一些国家，以我国产量最大、质量最好。生漆所形成的漆膜坚硬光亮，具有独特的耐酸性、耐油性、耐水性、耐有机溶剂性和耐土壤腐蚀性，可耐温150~200℃，物理力学性能较好，但不耐碱。大多应用在化

工防腐、工艺美术品和木制家具等。生漆加热桐油配制的称为广漆或金漆，用于木器制品。大漆的烘干规范见表2-6。

表2-6 大漆的烘干规范

| 烘烤温度/℃ | 烘干时间/min | 烘烤温度/℃ | 烘干时间/min |
|---|---|---|---|
| 150 | 195 | 185 | 30 |
| 162 | 135 | 190 | 17 |
| 172 | 75 | | |

### 2.3.5 酚醛树脂涂料的分类及其性质是什么?

（1）改性酚醛树脂涂料　松香改性酚醛树脂是以酚和醛制得的酚醛缩聚物，再与松香酸的不饱和环化合，最后以甘油酯化松香酸的羧基反应即制得松香改性酚醛树脂。松香改性酚醛树脂与桐油炼制，加入各种颜料，经研磨可制得多色酚醛磁漆，其漆膜坚韧，但因老化而易变黄，所以此类漆不宜做白色磁漆。改性酚醛树脂漆比酯溶漆有较好的耐久性和耐水性，耐候性不如醇酸磁漆，但由于价格低廉所以还是广泛用于家具、门窗的涂装。松香改性酚醛树脂涂料可溶于脂肪族烃、芳烃、松节油等有机溶剂中。

（2）纯酚醛树脂涂料　利用甲醛与对烷基或对芳基取代酚（如对叔丁基苯酚、对苯基苯酚）缩聚制得纯酚醛树脂，又称油溶性纯酚醛树脂。纯酚醛树脂涂料耐水性、耐腐蚀性、耐候性好。

### 2.3.6 醇酸树脂的品种和性质是什么?

（1）醇酸树脂的品种　涂料用醇酸树脂是以多元醇与多元酸和脂肪酸经过醇化缩聚而成。涂料用醇酸树脂类型很多，它可以独立成为一个体系，生产出各种型号和规格的醇酸树脂涂料，它也可以与其他多种树脂拼制成多种涂料。涂料用醇酸树脂品种如下：①不干性油改性醇酸树脂，如蓖麻油、椰子油、棒子油和合成脂肪酸等改性的醇酸树脂；②干性油改性醇酸树脂，如脱水蓖麻油、亚麻油、大豆油、桐油等改性的醇酸树脂；③无油醇酸树脂，如烯丙基醚醇酸树脂、新戊二醇酸树脂。

（2）醇酸树脂的性质　醇酸树脂涂料的品种繁多，性能各异，有广泛的用途，但其特点有以下几方面：①涂层有良好的柔韧性、附着力和机械强度；②颜料在该涂料中有较好的分散性；③涂层耐久性好，保光性好；④涂膜比较丰满；⑤涂膜耐溶剂性，耐热性比较好，但耐水性较差；⑥施工方便，价格便宜。

### 2.3.7 醇酸树脂的性能指标是什么?

1）醇酸树脂清漆性能指标见表2-7。

表2-7 醇酸树脂清漆性能指标

| 项　目 | 指　标 | 测试方法 | 项　目 | 指　标 | 测试方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| 原漆外观、透明度 | 透明、无机械杂质 | | 酸价/(mgKOH/g) | 12～16 | |
| 粘度(涂-4)/s | 40～70 | GB/T 1723—1993 | 固体含量(%) | ≥45 | GB/T 1725—2007 |

（续）

| 项　目 | 指　标 | 测试方法 | 项　目 | 指　标 | 测试方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| 干燥时间/h<br>表干<br>实干 | <br>6<br>15 | GB/T 1728—1979 | 附着力(级) | ≤2 | GB/T 1720—1979 |
| | | | 耐水性(浸4h) | 允许变白，2h恢复 | GB/T 1733—1993 |
| 硬度 | ≥0.30 | GB/T 1730—2007 | 耐汽油性(4h) | 允许轻微变化,1h恢复 | |
| 柔韧性/mm | 1 | GB/T 1731—1993 | | | |
| 抗冲击性/cm | 50 | GB/T 1732—1993 | 耐油性(24h) | 漆膜无变化 | |

2）各色醇酸树脂磁漆性能指标见表2-8。

**表2-8　各色醇酸树脂磁漆性能指标**

| 项　目 | 指　标 | 测试方法 | 项　目 | 指　标 | 测试方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| 漆膜外观 | 平整光滑 | | 硬度 | ≥0.4 | GB/T 1730—2007 |
| 粘度(涂-4)/s | ≥60 | GB/T 1723—1993 | 抗冲击性/cm | 50 | GB/T 1731—1993 |
| 细度/μm | ≤20 | GB/T 1724—1979 | 附着力(级) | ≤2 | GB/T 1720—1979 |
| 遮盖力/(g/m$^2$)<br>黑色<br>灰、绿色<br>蓝色<br>白色<br>红、黄色 | <br>≤45<br>≤65<br>≤85<br>≤100<br>≤150 | GB/T 1726—1979 | 柔韧性/mm | 1 | GB/T 1731—1993 |
| | | | 耐水性(8h) | 允许轻微失光、发白、起小泡经2h后恢复小泡消失,失光率不大于20% | |
| 干燥时间/h<br>表干<br>实干<br>烘干(60~70℃) | <br>10<br>18<br>3 | GB/T 1728—1979 | 耐汽油性(6h) | 不起泡、不起皱、允许失光经1h后恢复 | |
| 光泽(%) | ≥90 | | | | |

3）铁红醇酸底漆性能指标见表2-9。

**表2-9　铁红醇酸底漆性能指标**

| 项　目 | 指　标 | 测试方法 | 项　目 | 指　标 | 测试方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| 漆膜颜色、外观 | 铁红色，漆膜平整 | | 硬度 | ≥0.4 | GB/T 1730—2007 |
| | | | 柔韧性/mm | 1 | GB/T 1731—1993 |
| 粘度(涂-4杯)/s | 60~120 | GB/T 1732—1993 | 附着力(级) | 1 | GB/T 1720—1979 |
| 细度/μm | ≤50 | GB/T 1724—1979 | 抗冲击性/cm | 50 | GB/T 1732—1993 |
| 干燥时间/h | | GB/T 1728—1979 | 耐硝基性 | 不咬底 | |
| 表干<br>实干<br>烘干/105℃±2℃ | ≤2<br>24<br>0.5 | | 耐盐水性(浸24h) | 不起泡、不生锈 | |

### 2.3.8 与氨基树脂配合使用的醇酸树脂的性能和用途是什么?

不同醇酸树脂与氨基树脂配置烘漆所具有的性能和用途见表 2-10。

**表 2-10 不同醇酸树脂与氨基树脂配置烘漆所具有的性能和用途**

| 树脂型号 | 改性油 | 油度 | 性能 | 用途 |
|---|---|---|---|---|
| 干性油改性 1343 | 脱水蓖麻油 | 35% | 硬度、附着力、耐化学药品性好,但易变黄、易起皱 | 耐化学底漆用 |
| 1307 | 大豆油 | 41% | 硬度、光泽、附着力好 | 通用的磁漆品种 |
| 1313 | 亚麻油 | 41% | 硬度好,但易变黄 | 价格便宜,可低温烘烤,是通用的磁漆品种 |
| J570 | 溚油 | 41% | 硬度、光泽、附着力好 | 价格便宜是通用的磁漆品种 |
| 1334 | 亚麻油 | 52% | 柔韧性好、价格便宜、硬度差、变黄 | 玩具,工业涂装用 |
| 1331 | 大豆油 | 57% | 柔韧性好、价格便宜、硬度差 | 淡色玩具用涂料、镀锡、铁皮印刷用 |
| 不干性油改性 J287 | 蓖麻油 | 44% | 附着力强、贮存性差、光泽差 | |
| J542 | 椰子油 | 32% | 硬度好,不变色,附着力差,耐化学药品性差 | 淡色涂装用 |
| 松香改性 1303 | 亚麻油 | 34% | 硬度好,贮存稳定性差,变色 | 底漆、低温固化涂料用 |
| 酚醛树脂改性 1341 | 亚麻油 | 28% | 硬度好,贮存稳定性差,变色 | 底漆、低温固化涂料用 |
| 环氧脂 P786 | 脱水蓖麻油 | 42% | 硬度、附着力好,耐光、耐磨、易变黄、起皱 | 耐化学底漆用 |
| P787 | 椰子油 | 25% | 不变色,耐化学药品性好,附着力差 | 淡色涂料 |

### 2.3.9 氨基树脂的分类及主要性能指标是什么?

1. 氨基清漆

(1) 特点　氨基清漆含氨基树脂量较高，它们具有耐潮性好、附着力强、坚硬耐磨、光亮丰满等优点，多用于表面罩光。各色氨基透明漆是在氨基清漆中加入醇溶性颜料，制得漆膜美观、鲜艳、光亮、耐油、耐水，它是各种透明罩光漆中质量较好用量较多的品种之一，适用于钟表外壳、热水瓶、自行车、各种标牌、文教用品等物面的装修。

(2) 性能指标　氨基清漆的主要性能指标见表 2-11。

表 2-11　各色氨基清漆主要性能指标

| 项　　目 | 指　　标 | 项　　目 | 指　　标 | |
|---|---|---|---|---|
| 外观及透明度 | 透明无机械杂质 | 粘度(涂 -4 杯)/s | 100 ~ 150(低) | 200 ~ 240(高) |
| 颜色(铁钴比色计) | ≤8 | 柔韧性/mm | ≤3 | ≤3 |
| 漆膜外观 | 平整光亮 | 抗冲击性/cm | ≥40 | ≥40 |
| 硬度 | ≥0.50 | 光泽(%) | ≥95 | ≥95 |

2. 各色氨基烘漆

（1）特点　它是高级烘漆之一，分有光、半光、无光三种。有光烘漆含颜料少，有良好的耐腐蚀性，光亮，颜色鲜艳，多用于日常轻工产品。

（2）性能指标　各色氨基烘漆的主要性能指标见表 2-12。

表 2-12　各色氨基烘漆的主要性能指标

| 项　　目 | 指　　标 | 项　　目 | 指　　标 |
|---|---|---|---|
| 漆膜颜色和外观 | 平整光亮 | 干燥时间(105℃ ±2℃)/h | ≤2 |
| 粘度(涂 -4 杯)/s | 50 ~ 90 | 柔韧性/mm | ≥1 |
| 细度/μm | ≤20 | 抗冲击性/cm | 50 |
| 遮盖力/(g/$m^2$) | ≤100 | | |

3. 氨基绝缘漆

（1）特点　氨基绝缘漆分为氨基醇酸绝缘漆和聚酰亚胺绝缘漆两种。前者有较好的干透性、耐油性、耐电弧性，附着力也很强。后者耐高温抗辐射性能优异。

（2）性能指标　氨基绝缘漆的主要性能指标见表 2-13。

表 2-13　氨基绝缘漆的主要性能指标

| 项　　目 | 指　　标 |
|---|---|
| 原漆外观和透明度 | 棕色透明液体,无显著杂质 |
| 粘度(涂 -4 杯)/s | 20 ~ 45 |
| 酸价/(mgKOH/g) | ≤12 |
| 固体含量(%) | ≥48 |
| 干燥时间(105℃ ±2℃)/h | ≤1 |
| 耐热性(105℃ ±2℃),24h 柔韧性通过/mm | 3 |
| 耐油性[漆膜于 105℃ ±2℃烘 3h 后投入 105℃ ±2℃,GB 2536—1990,10 号变压器油中 24h] | 漆膜不允许起泡、脱落、允许变暗 |
| 击穿强度/(kV/mm)<br>(涂膜于 105℃ ±2℃干燥 4h 后)<br>常态(25℃ ±1℃,相对湿度 65% ±5%)<br>浸水(浸于 25℃ ±1℃蒸馏水中 24h 后 | <br><br>≥60<br>≥30 |
| 体积电阻/Ω · mm<br>(涂膜于 105℃ ±2℃烘 4h 后)<br>常态(25℃ ±1℃,相对湿度 65% ±5%)<br>受潮(25℃ ±1℃,相对湿度 97% ±3%下作用 24h 后) | <br><br>$\geq 5 \times 10^{13}$<br>$\geq 5 \times 10^{12}$ |

## 2.3.10　硝基纤维素涂料的性能指标是什么？

硝基纤维素、硝基磁漆的性能指标分别见表 2-14 和表 2-15。

表 2-14　硝基纤维素性能指标

| 项　目 | 指　标 | 试验方法 | 项　目 | 指　标 | 试验方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| 漆外观 | 淡黄色透明液体，无机械杂质 | GB/T 1721—2008 | 光泽(%) | 95 | |
| | | | 干燥时间/min | | GB/T 1728—1979 |
| 动力粘度(涂-4)/s | 50～80 | GB/T 1723—1993 | 表干 | 10 | |
| | | | 实干 | 50 | |
| 固体含量(%) | 30 | GB/T 1725—2007 | 柔韧性/mm | 1 | GB/T 1731—1993 |
| 硬度 | ≥0.5 | GB/T 1730—2007 | 附着力(级) | ≤2 | GB/T 1720—1979 |

表 2-15　硝基磁漆性能指标

| 项　目 | 指　标 | 试验方法 | 项　目 | 指　标 | 试验方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| 漆膜外观 | 各色，平整光滑 | GB/T 1722—1992 | 抗冲击性/cm | 30～40 | GB/T 1732—1993 |
| | | | 附着力(级) | ≤2 | GB/T 1720—1979 |
| 粘度(涂-4)/s | 70～200 | GB/T 1723—1993 | 硬度 | ≥0.5 | GB/T 1730—2007 |
| 固体含量(%) | | GB/T 1725—2007 | 耐水性(浸 24h) | 允许漆膜轻微发白、失光、起泡、在 24h 内修复 | GB/T 1733—1993 |
| 红、黑、深蓝、紫 | 34 | | | | |
| 红、铝色、其他各色 | 38 | | | | |
| 遮盖力/($g/m^2$) | 20～120 | GB/T 1726—1979 | | | |
| 干燥时间/min | | GB/T 1728—1979 | 耐汽油性(浸 24h) | 连续不起泡、不脱落、允许失光变软，对铝色、红色允许变色 | |
| 表干 | 10 | | | | |
| 实干 | 50 | | | | |
| 光泽(%) | | | | | |
| 浅色 | 70 | | | | |
| 深色 | 80 | | | | |
| 柔韧性/mm | ≤2 | GB/T 1731—1993 | | | |

## 2.3.11　硝基纤维素的施工注意事项有哪些？

1）金属表面应进行预处理以提高涂膜的结合力，并首先喷涂底漆。事实证明各种外用硝基磁漆在喷涂过底漆的表面上的结合力，比未喷底漆的要好。可与硝基底漆和醇酸底漆配套应用。

2）不可滥用溶剂和稀释剂，施工时，如粘度过高，可加入 X-1 硝基稀释剂。在湿度高的地方施工如发现漆膜泛白，可适当加入硝基漆防潮剂或醋酸丁酯与丁醇（体积比为 1∶1）的混合液调整。

3）施工时两次喷涂间隔为 10min 左右。

### 2.3.12　过氯乙烯涂料的性能指标有哪些?

过氯乙烯涂料的性能指标见表 2-16，稀释剂见表 2-17。

**表 2-16　过氯乙烯涂料的性能指标**

| 项　　目 | 指　　标 | 试验方法 | 项　　目 | 指　　标 | 试验方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| 颜色与外观 | 符合色差范围,平整光滑 | | 干燥时间/min | | GB/T 1728—1979 |
| | | | 表干 | 20 | |
| 动力粘度(涂 - 4 杯)/s | 25 ~ 80 | GB/T 1723—1993 | 实干 | 90 | |
| 固体含量(%) | | GB/T 1725—1979 | 硬度 | ≥0.4 | GB/T 1730—2007 |
| 红、蓝、黑色 | 26 | | 光泽(%) | | |
| 其他颜色 | 31 | | 黑色 | 90 | |
| 遮盖力/(g/m²) | | GB/T 1726—1979 | 其他各色 | 80 | |
| 黑色 | < 20 | | 柔韧性/mm | 1 | GB/T 1731—1993 |
| 深覆色 | < 40 | | 附着力(级) | ≤3 | GB/T 1720—1979 |
| 浅覆色 | < 50 | | 抗冲击性/cm | 40 | GB/T 1732—1993 |
| 白色、浅蓝色 | < 60 | | 耐水性(24h) | 不起泡、不脱落、漆膜颜色允许轻微变白 | GB/T 1733—1993 |
| 红色 | < 80 | | | | |
| 黄色 | < 90 | | | | |
| 深蓝、紫红色 | < 100 | | | | |
| 柠檬黄色 | < 120 | | | | |

**表 2-17　过氯乙烯稀释剂**

| 原　　料 | 用量(%) |
|---|---|
| 醋酸丁酯 | 20 |
| 丙酮 | 10 |
| 甲苯 | 70 |

### 2.3.13　过氯乙烯涂料施工的注意事项有哪些?

1）过氯乙烯涂料适宜喷涂施工在相对湿度大于 70% 时，需加入适量 F-2 过氯乙烯防潮剂，以防漆膜发白。

2）过氯乙烯各色涂料可与 G06-4 过氯乙烯底漆或 C06-1 醇酸底漆配套使用。

3）施工时，如涂料粘度过高，可加入 X-3 过氯乙烯稀释剂加以稀释。

### 2.3.14　乙烯树脂涂料的分类及其性能是什么?

1. 聚乙烯醋酸乙烯共聚树脂涂料

聚氯乙烯树脂在结构上有较少的侧基，结构紧密，故化学稳定性高，但树脂溶解性差，附着力差，直接制漆比较困难，所以需与其他单体共聚改进之。其主要有两种：

1）带羟基的氯乙烯醋酸乙烯共聚树脂，它是氯乙烯和醋酸乙烯共聚后，再进行部

分水解而得到的。

2）带羧基的氯乙烯醋酸乙烯共聚树脂，是除上述两种主要单体之外加入第三单体而得到的，一般是顺丁烯二酸酐。

聚乙烯醋酸乙烯共聚树脂涂料配套工艺见表2-18。

**表2-18　聚乙烯醋酸乙烯共聚树脂涂料配套工艺**

| 型号名称 | 施工配套编组 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| X06-1 磷化底漆 | 1(层) | 1(层) | 1(层) | 1(层) | 1(层) |
| X52-3 红丹,铁红或锌黄底漆 | 2~3(层) | 1~2(层) | 2~3(层) | 2~3(层) | 2~3(层) |
| X52-3 铝粉漆 | 2~3(层) | 1~2(层) | — | — | — |
| X52-1 白,灰面漆($TiO_2$) | — | — | 4~6(层) | 2~3(层) | 4~6(层) |
| X52-1 白,灰面漆(ZnO) | — | 2~3(层) | 2~3(层) | — | — |
| X52-2 耐腐清漆 | — | — | — | 2~4(层) | 2~4(层) |
| 用　途 | 供室外耐大气腐蚀、耐盐雾、湿热气候或水下船底用,不适于化工大气防腐蚀 | | | 适合耐酸碱化学腐蚀用 | |

注：涂层施工间隔时间每层间隔最好24h。

2. 聚醋酸乙烯树脂涂料

聚醋酸乙烯树脂是由醋酸乙烯在过氧化物的引发下聚合而成。聚醋酸乙烯乳胶漆的性能和用途见表2-19。

**表2-19　聚醋酸乙烯乳胶漆的性能和用途**

| 序号 | 型号 | 名称 | 特性和用途 |
|---|---|---|---|
| 1 | X08-1 | 各色醋酸乙烯无光乳胶漆 | 干燥较快,涂刷方便,用水稀释,无有机溶剂的污染和火灾危险。涂膜能耐皂液洗涤,可在略潮的水泥表面施工,户外使用寿命一年以上,适用于涂装混凝土,胶泥、灰泥和木质表面,做建筑物内外用装修涂料,也可以涂于固定电影银幕 |
| 2 | X08-2 | 各色醋酸乙烯无光乳胶漆 | 以醋酸乙烯、顺丁烯二酸二丁酯共聚乳胶漆、户外耐久性优于X08-1 适用于涂在混凝土胶泥、灰泥和木质表面,可做建筑外用涂料 |

3. 氯乙烯偏二氯乙烯共聚树脂涂料

为了改进聚氯乙烯树脂在有机溶液中的溶解性能，采用氯乙烯与偏二氯乙烯共聚可以制得氯乙烯偏二氯乙烯共聚树脂。此树脂有类似其他乙烯树脂的化学稳定性，还有较其他乙烯树脂更好的抗渗透性、柔韧性、附着力，故可以不借用其他底漆来提高与金属表面的附着力。

4. 聚乙烯醇缩醛树脂涂料

聚乙烯醇缩醛树脂普遍用于生产漆包线漆、两罐装磷化底漆等。聚乙烯醇缩醛树脂是以聚醋酸乙烯在酸性或碱性催化剂作用下，被甲醇水解制得聚乙烯醇，再与醛缩合而制成。

### 2.3.15 热固性丙烯酸树脂的官能团和交联剂有哪些?

各种热固性丙烯酸树脂的官能团和交联剂见表2-20。

**表2-20 热固性丙烯酸树脂的官能团和交联剂**

| 官能团 | 交联剂 | 官能团 | 交联剂 |
|---|---|---|---|
| 羧基<br>P①—COOH | 三聚氰胺甲醛树脂，脲甲醛树脂、环氧树脂、二异氰酸酯，多羟基化合物 | 环氧基<br>$P^{①}—COOCH_2—CH—CH_2$（CH与$CH_2$经O成环） | 酸、酸酐、胺等环氧树脂用交联剂 |
| 羟基<br>$P^{①}—COOCH_2CH_2OH$ | 三聚氰胺甲醛树脂、脲甲醛树脂二异氰酸酯、环氧树脂二元醛 | 酰胺基<br>$P—CONH_2$ | 三聚氰胺甲醛树脂、脲甲醛树脂、环氧树脂、多羟基化合物 |
| N—羟甲基丙烯酰胺基<br>$P^{①}—CONHCH_2OH$ | 环氧树脂、三聚氰胺甲醛树脂、脲甲醛树脂、多羟基化合物 | 1—氮杂环丙烯<br>$P^{①}—CH_2CH_2N$（N与两个$CH_2$成环） | 多元酸、多元酸酐、多元胺类化合物、环氧树脂 |

① 代表聚合物主链。

### 2.3.16 丙烯酸树脂涂料的性质和用途有哪些?

热塑性丙烯酸树脂涂料具有很高的硬度，色泽浅不泛黄，具有很好的耐久性。主要用于航空工业中要求耐候性、保光性良好的铝合金表面。热塑性丙烯酸树脂涂料由于树脂相对分子质量的关系，涂料成膜物含量较低，喷涂施工时道数较多，要耗用较多的稀释剂，而且成膜后不够丰满。由于施工粘度不当，喷涂时，会产生拉丝或桔皮。

热固性丙烯酸树脂涂料多采用氨基树脂、环氧树脂、聚氨基甲酸酯低聚物等作为固化剂进行交联固化。涂膜具有优良的物理力学性能和表面丰满度，耐候性强；保色性好、光亮度高、硬度高，具有一定的耐水性和耐油性。多数采用高温烘烤固化。适用于轿车、轻工产品、家用电器产品的涂装。

### 2.3.17 不饱和聚酯树脂固化时间与硬度的关系是什么?

引发剂（过氧化甲乙酮）的用量在0%～2%（质量分数）时对树脂的胶凝化时间影响最大，超过2%对胶凝化时间的影响仍很大。当涂层中加有1%～2%（质量分数）的引发剂时，在25℃下经一周时间的固化可以得到最坚硬的涂膜，用量在0.5%（质量分数）以下也能完全固化。超过2%（质量分数）用量，涂膜硬度相反有降低趋势。

但如引发剂为1%（质量分数）、使用钴含量6%（质量分数）的环烷酸钴促进剂0.2%～2%（质量分数），对涂膜的性能大体上没有影响，然而当环烷酸钴的用量在1%（质量分数）以上会给涂膜带来非常不好的着色性。

若使不饱和聚酯涂层的硬度达到最高值，从图2-2可以看出需要很长的周化时间，一般达到斯沃德（Sward）硬度30～40就可以了。

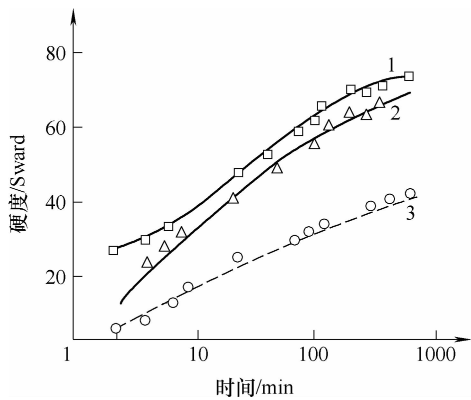



图 2-2　不饱和聚酯树脂固化时间与硬度的关系

1—30℃和 0.6% 促进剂　2—20℃和 1% 促进剂　3—5℃和 2% 促进剂

### 2.3.18　环氧酯涂料的特点及其性能指标是什么?

环氧酯涂料是目前用途广泛、用量大的一种涂料，可以用于室内外各种设备防腐，也可用于电器绝缘漆，环氧酯底漆可广泛应用与各种金属表面，尤其是环氧酯电泳底漆在涂装生产线上广泛应用。环氧酯底漆为单包装涂料应用简便，耐腐蚀性强，附着力好，涂膜坚硬，但因环氧酯树脂中含有酯基，故耐碱性差。

环氧酯底漆性能指标见表 2-21。

**表 2-21　环氧酯底漆性能指标**

| 项　目 | 指　标 | 测试方法 | 项　目 | 指　标 | 测试方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| 粘度(涂-4 杯)/s | 50~80 | GB/T 1723—1993 | 抗冲击性/cm | 50 | GB/T 1732—1993 |
| 细度/μm | | GB/T 1724—1979 | 附着力(级) | 1 | GB/T 1720—1979 |
| 铁红、铁黑 | ≤60 | | 耐盐水性 | | |
| 锌黄 | ≤50 | | 铁红、铁黑 | 浸 48h,不起泡、不生锈 | |
| 干燥时间/h | | GB/T 1728—1979 | | | |
| 实干 | 24 | | 锌黄 | 浸 96h,不起泡、不生锈 | |
| 烘干/12℃ ±2℃ | 1 | | | | |
| 硬度 | ≥0.40 | GB/T 1730—2007 | 耐硝基性 | 不起泡、不膨胀,不渗色 | |
| 柔韧性/mm | 1 | GB/T 1731—1993 | | | |

### 2.3.19　环氧酯涂料的施工注意事项有哪些?

1）环氧酯底漆、磁漆、清漆施工可以采用喷涂或刷涂，如需多道喷涂或刷涂时，必须在第一道实干后再施工第二道。环氧酯底漆有用于黑色金属表面的铁红、铁黑环氧酯底漆，用于有色金属表面的锌黄环氧酯底漆。

2）环氧酯涂料在施工时，如粘度高，可用二甲苯和丁醇混合溶剂稀释。

3）环氧酯底漆实干后，可用水砂纸打磨，干后再涂刷腻子或涂面漆。

## 2.3.20　聚氨酯涂料的分类及用途有哪些?

聚氨酯涂料具有单组分聚氨酯油、单组分湿固化、单组分封闭型、双组分催化型、双组分羟基固化型等种类，共有近六十个品种。其特性和用途见表2-22。

**表2-22　不同聚氨酯涂料的特性和用途**

| 类　别 | | 固化方法 | 游离-NCO(%) | 颜料分散性 | 干性/h | 装饰性与耐腐蚀性 | 主要用途 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 单组分 | 改性油 | 油脂中的双键在空气中氧化聚合物 | 0 | 常规方法 | 0.4~4 | 比醇酸树脂好 | 室内装饰用漆、木器家具、地板漆、工业防腐蚀维修漆、船舶漆 |
| | 湿固化型 | 空气中的水蒸气 | <6 | 难,不能使用碱性颜料 | 0.2~8(相对湿度30%以上) | 耐腐蚀性良好装饰性一般 | 木材、钢铁塑料、地板、水泥壁面涂装 |
| | 封闭型 | 加热 | 0 | 常规方法 | 150℃,0.5 | 电绝缘性良好,耐化学药品 | 绝缘漆、特殊烤漆 |
| 双组分 | 催化固化型 | 催化剂+预聚物 | 5~10 | 困难,要求不用碱性颜料 | 0.1~2(相对湿度30%) | 耐腐蚀性优异 | 防腐蚀涂料,耐磨涂料皮革、橡胶的用漆 |
| | 多羟基组分固化型 | 多羟基组分+预聚物或加成物 | 6~12 | 用多羟基组分先与颜料磨成色浆 | 2~16(视需要而定) | 优异 | 高装饰性涂料如飞机蒙皮漆、车辆漆、轻工产品用漆、工业防腐蚀漆(如油罐漆等),木材、钢铁、有色金属、塑料皮革水泥橡胶用漆 |

## 2.3.21　聚氨酯涂料施工时的注意事项是什么?

聚氨酯涂料是一种反应性很强的涂料，对环境很敏感，漆膜性能与施工的关系更加密切，所以聚氨酯涂料的施工除了应按涂料施工的通则进行之外，还应注意下列各点：

1）聚氯酯涂料用溶剂不应含有水、醇、胺碱酸等杂质。

2）双组分聚氨酯涂料应按当日（班）需要量、严格按规定量配准，搅拌均匀，并放置15~20min待气泡消失后才能使用。配料一定要准确，如果A组分太多，则漆膜脆，太少则漆膜软，干燥慢，易水解，耐水耐腐蚀性差。

3）两道漆之间的施工间隔不宜过长（不宜超过48h），一般应在第一道漆未干透之前即涂第二道漆，以增加层间附着力。对固化已久的涂层需用砂纸打磨后才能罩第二道

漆，否则因底层太硬而使两层漆之间不能牢固结合，易于产生层间剥落脱皮。

### 2.3.22　有机硅及其改性涂料的性能指标及施工注意事项是什么?

（1）性能　以有机硅烘干漆为例，见表 2-23。

表 2-23　有机硅烘干漆的性能指标

| 项　目 | 指　标 |
|---|---|
| 外观 | 均匀液体无机械杂质 |
| 粘度(涂 -4 杯)/s | 25 ~ 60 |
| 固体含量(%) | ≥50 |
| 干燥时间(200℃ ±2℃)/h | ≤2 |
| 耐热性(200℃ ±2℃)/h | ≥200 |
| 击穿强度/(kV/mm) | |
| 常态(25℃ ±5°相对湿度 65% ±5%) | ≥65 |
| 热态(200℃ ±2℃) | ≥30 |
| 受潮(25℃ ±1℃相对湿度 95% ±3% 下处理 24h 后) | ≥40 |
| 体积电阻系数/Ω · cm > | |
| 常态((25℃ ±5℃,相对湿度 65% ±5%) | $1\times10^{14}$ |
| 热态(200℃ ±2℃) | $1\times10^{11}$ |
| 受潮(25℃ ±1℃相对湿度 95% ±3% 下处理 24h 后) | $1\times10^{12}$ |
| 热重量损失(%)<br>(250℃ ±2℃烘 3h) | ≤5 |

（2）施工注意事项　烘烤型纯有机硅树脂涂料的烘烤温度为 160 ~ 200℃，烘 1 ~ 1.5h。改性有机硅树脂的烘烤温度为 120 ~ 130℃，烘 1 ~ 1.5h。涂装时，涂膜不宜过厚，使用量喷涂为 140 ~ 150g/m²，刷涂为 120 ~ 130g/m²，一般涂装两道。

### 2.3.23　橡胶涂料的施工注意事项有哪些?

1）该涂料为双组分涂料按（组分 1∶组分 2）为（5∶1）比例进行配漆，混合后的涂料 48h 内用完，以防胶化。

2）氯磺化乙烯橡胶涂料为溶剂型涂料，溶剂为二甲苯，因此在施工时应加强排风以防中毒，并应严防明火，以防火灾。

3）施工时必须注意，每一层表干后，才能涂刷下一道。一般情况涂刷 4 ~ 6 道，对强腐蚀介质涂刷 8 道以上。

### 2.3.24　特种涂料的分类有哪些?

特种涂料是指具有除防护性和装饰性之外特殊功能的专用涂料。特种涂料品种众多，就其主要功能可分为六大类：力学功能、光学功能、电磁功能、热功能、化学功能及生物功能。包括润滑涂料、示温涂料、伪装涂料、导电和导静电涂料、防污涂料、阻燃涂料、隔热保温涂料、建筑防水涂料、发光涂料等。

### 2.3.25　润滑涂料的作用机理是什么?

材料摩擦系数（$\mu$）由下式决定

$$\mu = S/p_m$$

式中 $S$——材料的剪切强度（MPa）；

$p_m$——压缩流动压力（MPa）。

因此只要降低材料的剪切强度或增加其流动压力，或者两者配合变化，就能够降低材料的摩擦系数。但是，一种材料不可能同时得到低的剪切强度和高的流动压力。低剪切强度的材料往往流动压力也低。但若在高流动压力的硬质材料表面薄涂一层低剪切强度的润滑涂料，其厚度接近于底材的表面粗糙度，则滑动表面的流动压力接近于底材的高 $p_m$ 值，剪切强度与涂层的低 $S$ 值接近，两滑动面摩擦系数处于低值状态，从而赋予涂膜良好的润滑性能。

由于很薄的润滑涂膜能显著地降低摩擦系数，也称为固体润滑膜。在液体润滑剂不能胜任的场合，可使用润滑涂料代替。

### 2.3.26 润滑涂料的组成和种类是什么？

（1）组成 润滑涂料主要由基料、固体润滑剂、金属物质和其他添加剂组成。

1）基料需要具备耐高低温、耐腐蚀和耐辐射的性能。基料的种类有无机质、有机质和金属基料三种。有机质基料如聚氨酯、环氧、丙烯酸等；无机质基料有硅酸盐、硼酸盐、磷酸盐等；金属基料有 Cu、Ag、Pb、Ni、Sn 等。

2）固体润滑剂是润滑涂料的关键成分，包括有机物（PTFE、尼龙、酞菁化合物）、无机物（石墨、二硫化钼、高温用 $LaF_3$ 和 $CaF_2$）、软金属及其化合物（如 Ag、Au、Al 等）。

3）添加剂主要用于提高耐磨性或大幅度地降低摩擦系数，主要有软质金属及其氧化物等。

（2）种类 润滑涂料的种类分为金属型、有机型和无机型三种。一般来说，在200℃以下使用的有机型润滑涂料，可按照涂料的常规方法施工和干燥成膜；其他类型的润滑涂料（金属型和无机型）可采用离子溅射、热喷涂、电沉积和等离子体喷涂等方法进行施工。

### 2.3.27 示温涂料的优势和影响变色的因素分别是什么？

示温涂料是指利用涂层颜色变化来指示物体表面温度及温度分布的专用涂料。在一定的条件和氛围中，示温涂料被加热到一定温度，就出现某一颜色变化，由此可确定该涂料所指示的温度。

与温度计或热电偶等测温工具来指示温度相比，利用示温材料来指示温度具有以下优势：

1）特别适合于温度计无法测量或难于测量的场合，可用于飞机、炮弹、高压电路、电子元件、轴承套、机器设备的高温部件、高温高压设备。

2）测温简单、快速、方便、经济又正确，尤其适用于大面积温度测量。

3）多变色示温涂料能够显示出物体表面的温度分布，对设备设计、材料选择和结构改进等有指导意义。

4）用不可逆示温涂料来指示极限温度，是较为简便的超温报警和超温记载的方法。

示温涂料的变色范围，单变色为 40～1350℃；多变色为 55～1600℃。示温材料在

航空、电子和石化领域有着广泛的应用。示温涂料的颜色变化，主要是依靠所添加的变色颜料的受热变色来实现的。

示温材料的变色过程有可逆和不可逆两种情况：

1）可逆变色的示温涂料可重复使用。可逆变色原理有三种情况：晶型转变、pH 值变化及失去结晶水。

2）不可逆变色的示温涂料只能使用一次。不可逆变色的原理有以下五种情况：升华、热分解、氧化、固相反应和熔融。

外界因素对变色温度的影响主要有升温速度、压力、环境介质、光照、湿度、涂膜厚度等情况：

1）升温速度快，变色温度偏高；恒温时间长，使变色温度降低。

2）压力则对升华、热分解等变色过程影响大。

3）环境中高浓度的反应性气体将对变色物质发生作用，干扰变色过程。

4）光照容易使有机物分解而变色。

5）湿度对脱结晶水的变色过程影响大，湿度高时，结晶水不易脱去；干燥的环境则使水合困难，颜色难以复原。

6）涂膜太厚也使变色温度增高，一般以 20～40μm 为宜。

### 2.3.28　不可逆示温涂料有何性能？

不可逆示温涂料产品及性能见表 2-24。

**表 2-24　不可逆示温涂料产品及性能**

| 型　号 | 数　量 | 变色性能 | 用　途 |
|---|---|---|---|
| SW—y—200<br>SW—y—250<br>SW—y—310 | | 深蓝 $\xrightarrow[1h]{210℃}$ 白色<br>蓝 $\xrightarrow[1h]{250℃}$ 白色<br>蓝 $\xrightarrow[1h]{310℃}$ 白色 | 主要用于石油化工设备、反应釜外壁，起超温报警作用 |
| SW—y—(60～300) | 每隔 10℃ 一个品种，共有 25 个品种 | SW—y—60：50℃、浅蓝绿→60℃、草黄<br>SW—y—100：90℃、浅青紫→100℃、蓝紫<br>SW—y—200：190℃、浅绿→200℃、灰绿<br>SW—y—300：290℃、暗黄绿→300℃、暗棕黄 | 主要用于飞机内部仪表、蒙皮结构的温度指示 |
| SW—y—(290～890) | 每隔 30℃ 一个品种，共有 15 个品种 | SW—y—400：390℃、蓝→400℃、白<br>SW—y—590：580℃、稻黄→590℃、鲜黄<br>SW—y—750：740℃、黄→750℃、粉红<br>SW—y—890：880℃、浅橙→890℃、奶黄 | 主要用于飞机发动机表面温度指示 |
| SW—D—(400～960)多变色不可逆 | 共 6 个品种 | SW—D—(400～600)五变色<br>SW—D—(600～750)五变色<br>SW—D—(780～960)五变色 | 主要用于测定飞机发动机、叶片、涡轮盘处温度分布 |

### 2.3.29　伪装涂料有哪些类型?

伪装涂料主要有防光学伪装涂料、防热红外伪装涂料和防雷达伪装涂料等几大类。

防光学伪装涂料按用途分为防可见光和防近红外、防近紫外伪装涂料。前者用于伪装以植被、岩石、土壤为背景的目标；后者除可用于前述目标外，还可用于伪装以雪地为背景的目标。

防热红外伪装涂料主要有：用热导率低的聚苯乙烯、聚氨酯泡沫、硅酮橡胶等高熔点、高分子材料构成的绝热涂层；由辐射率低的丁基橡胶、聚乙烯、醋酸乙烯共聚物等粘合剂和高导率的铝、锌、黄铜等粉末配制的，可形成“热图迷彩”的低辐射率涂料；为降低目标表面温度而采用的太阳能高反射涂料；能随目标温度变化而产生辐射率逆反应的温变型涂料等。

防雷达伪装涂料也称为电波吸收材料，主要是指能强烈吸收电磁波的涂层，有吸收型、谐振型、干涉型和等离子体型。谐振型涂层是在树脂粘合剂中嵌入不规则排列的金属纤维及填料构成，对电磁波产生谐振而起偶极子的作用，从而吸收大量的电磁能。可采用喷涂、涂刷或预制成片的方法覆盖到飞机、火箭等目标上，来实现防雷达探测的目的。干涉型涂层由交替叠置的电介质层和导电材料层组成。吸波型涂层实质上是一种高分子复合涂料，它是以高分子溶液或乳液为基料，吸波剂和其他附加成分分散加入其中而制成。

### 2.3.30　导电和导静电涂料有何特性?

（1）导电涂料　导电涂料包括无机类和有机类两种，无机类如 Ag、Cu、Ni、Au、石墨、氧化锡、氧化铟等；有机类有聚乙炔、酞菁铜、TCNQ·TTF 电荷转移络合物等。导电涂料常用于在非导电性底材表面传导电流，以防止底材遭到雷击。涂料中导电材料的加入量一定要根据实际情况合理的调节。涂层中导电材料的加入量超过临界颜料的体积浓度，会造成涂膜疏松多气孔，导电性下降；涂层中导电材料加入量过少，涂层中导电材料颗粒不能保持彼此接触，导电性能也不高。导电涂料可用于电子元件表面消除电荷，以及防止玻璃表面的结冰和起雾。

（2）导静电涂料　导静电涂料一般添加有季铵盐抗静电剂或导电材料。导静电涂料是利用抗静电剂的吸湿性而在表面形成水分子吸附膜，依靠增加表面电荷向空气中的传导来防止表面静电积累。导静电涂料不适宜在干燥的环境下使用。在工业和日常生活中，由于静电积累而产生火花或灰尘吸附的现象非常普遍，因此导静电涂料的应用非常广泛。

### 2.3.31　防污涂料的作用和类型有哪些?

防污涂料是防止船舶底部海洋生物附着的专用涂料。由树脂、防污剂、颜料和填料、助剂和溶剂组成。在使用过程中，毒性的防污剂会逐渐地向外渗出，表面形成一层毒性液膜，有效地防止海洋生物附着。一般防污涂料的毒料有氧化亚铜、有机锡等。在专门选择的树脂中，毒料在很长时间内受控释放，使渗出率与海洋生物致死浓度相同，同时可以具有 3～5 年的防护期。

根据防污涂料中毒料在海水中的释放机理，防污涂料可分为几种类型：接触型、扩散型、溶解型和自抛光型等。

（1）接触型防污涂料　接触型防污涂料是以水不溶性的乙烯基、丙烯酸树脂作为基料，添加高浓度的氧化亚铜作毒料和可溶性的渗出助剂，通过涂层中毒料彼此接触相互溶解后，使得涂层形成蜂窝状结构，使涂层内部的毒料能不断地溶解渗出。这类防污涂料的防污期在 3 年以上。

（2）扩散型防污涂料　扩散型防污涂料以乙烯基树脂或氯化橡胶作基料，配以有机锡毒料、树脂与毒料形成固溶体，使得毒料以分子状态均匀分布于涂膜中，并通过表面的毒料分子与海水接触溶入海水后涂膜内部高浓度毒料分子向表面低浓度区域扩散迁移，保证表面有足够的毒料分子来维持其渗出率。这类防污涂料的表面总是光滑的，防污期为 1 ~ 2 年。

（3）溶解型防污涂料　溶解型防污涂料是以松香、沥青作基料和氧化亚铜作毒料。松香等基料微溶于海水而不断地暴露出新鲜的涂膜表面，使毒料能不断地与海水接触而溶解，形成毒性液膜。添加沥青和颜料、填料可用于调节松香的溶解速度，控制渗出率。这类防污涂料属传统型，防污期 1 年以上。

（4）自抛光型防污涂料　自抛光型涂料树脂是由有机锡丙烯酸盐单体与丙烯酯共聚形成的，表层树脂通过水解作用而释放出有机锡毒料，水解后的链分子变成水溶性，能从涂膜中分离出来，暴露出新的活性表面，并产生自抛光作用。自抛光型防污涂层具有良好的重涂性能，可根据防污期来确定涂层厚度，防污期可高达 4 年以上，在大型船舶上有良好的应用。

（5）绿色防污涂料　由于上述几种涂料中的毒料对生态环境造成了破坏，出现了采用无毒材料或在环境中能快速分解的毒料配制而成的绿色防污涂料。例如，采用硅酸钠作基料的涂料，使得表面液化层为碱性，海洋生物无法生存，达到防污的效果。

### 2.3.32　防污涂料的性能要求及用途是什么？

（1）防污涂料的性能要求　防污涂料的性能要求包括以下三个方面：

1）防污涂料应与防污底漆有良好的配套性，层间结合力要强。

2）防污涂料应对各类海洋生物有特效。

3）防污涂料中的防污剂对环境污染要小，施工时对操作人员的健康危害要小。

（2）防污涂料的品种、特性及用途　防污涂料的品种、特性及用途见表 2-25。

**表 2-25　防污涂料的品种、特性及用途**

| 产品型号 | 特性、用途 | 颜色 | 粘度/s（涂 -4 杯） | 干燥时间/h | | 配套底漆及施工 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 表干 | 实干 | |
| T40-1 松香防污漆 | 用于木船底部 | 浅紫 | 30 ~ 60 | ≤2 | ≤12 | 直接涂于木船底部 |
| 814 木船防污漆 | 快干、附着好，用于木船防污期可达 1 年 | 棕色 | 60 ~ 120 | ≤3 | ≤12 | 沥青类船底漆 |
| L40-1 沥青防污漆（832、583A、903） | 快干、附着好、成本低，用于钢质船底，防污期小于 1 年 | 棕黄 | 30 ~ 60 | ≤2 | ≤12 | 沥青系环氧沥青、氯化橡胶底漆等；涂完后应在 12h 内下水 |

（续）

| 产品型号 | 特性、用途 | 颜色 | 粘度/s（涂-4杯） | 干燥时间/h | | 配套底漆及施工 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 表干 | 实干 | |
| L40-7 沥青防污漆 | 防污性比 L40-1 稍好 | 棕黄 | 30~60 | ≤3 | ≤12 | L44-1，L44-2 沥青防锈底漆 |
| L40-4 沥青防污漆（836，418） | 不含汞，钢质船底防污期1~1.5年 | 红灰 | 60~90 | ≤2 | ≤24 | 涂完后，应在24h内下水 |
| 837 沥青防污漆（418-2） | 钢质船底防污，涂3道，干膜厚150μm，防污期可达2年 | 红灰 | 70~90 | ≤2 | ≤24 | 沥青类、氯化橡胶类 |
| L40-71-33（L40-28，L40-72-29） | 沥青类，含较多有机锡的混合毒料，涂3道，200μm厚，防污期3年 | 灰红 | 60~90 | ≤2 | ≤24 | 沥青系、环氧沥青系，氯化橡胶底漆 |
| 838 乙烯防污漆（103-Ⅳ） | 氯醋共聚物基料，快干，钢质船底和水线防污，防污期2.5~3年 | 褐红 | 100~160 | ≤1 | ≤24 | 乙烯沥青、环氧沥青、氯化橡胶底漆等；高压无气喷涂、或刷、滚涂 |
| G40-36 过氯乙烯防污漆 | 快干、耐干湿交替，用于钢质船底与水线防污，防污期2.5~3年 | 桔红 | 触变体 | ≤2 | ≤12 | 氯化橡胶底漆（沥青系底漆不适宜） |
| H40-63 环氧防污漆 | 用于船底和水线防污，涂3道，200μm厚，防污期2.5年以上 | 红棕 | 25~55 | ≤4 | ≤12 | 氯化橡胶底漆 |
| 9#丙烯酸防污漆 | 快干、耐干湿交替，对轻金属无腐蚀，有机锡毒料，用于铝壳快艇，涂2道，防污期0.5年 | 灰色 | 触变体 | ≤0.5 | ≤2 | 环氧沥青底漆 |
| 839 长效厚膜防污漆（L105-6） | 丙烯酸厚浆型，快干，贮存稳定，涂3道200μm厚，防污期3年 | 淡红 | | ≤1 | ≤18 | 乙烯沥青、环氧沥青、氯化橡胶底漆；高压无气喷涂、刷涂和滚涂 |
| S9-33 自抛光防污漆 | 有自抛光性能，防污性能好，120μm~200μm厚，海港挂片3年以上，实船2年以上防污期 | 红色 | | ≤1 | ≤8 | 环氧沥青、氯化橡胶底漆 |

注：涂料中有机锡含量高，施工时要做好劳动保护。

### 2.3.33 阻燃涂料的种类有哪些？

阻燃涂料按组成及防火机理分为膨胀型和非膨胀型两大类。

（1）膨胀型　膨胀型阻燃涂料由难燃性或不燃性树脂、难燃剂、成炭剂、脱水成炭催化剂、发泡剂、颜料和填料和纤维增强剂组成。膨胀型涂料的涂层在火焰高温灼烧时，以几十倍的膨胀比例形成泡沫炭化层，并形成有效的隔热屏蔽层，阻止高温向底材

的传递，其阻燃效果优于非阻燃型涂料。

（2）非膨胀型　非膨胀型阻燃涂料又分无机型和有机型两种。无机型非膨胀阻燃涂料由硅酸盐、硅溶胶或磷酸盐与耐火性填料组成，具有不燃性。有机型非膨胀阻燃涂料是一种难燃性涂料，主要由自熄性树脂、有机磷树脂、三氧化二锑难燃剂、氧化石蜡及硼酸盐难燃剂等配制而成。

### 2.3.34　阻燃涂料的阻燃作用是怎么实现的？

1）利用熔融覆盖层来隔绝空气。

2）利用成炭剂和发泡剂形成的膨胀与炭化层来阻挡热量传导。

3）利用含卤素的有机物来阻止燃烧的连锁反应。

4）改变热分解反应历程，阻止放热量大的完全燃烧反应的发生。

5）利用分解出的惰性气体（如 $NH_3$、$H_2O$、$CO_2$、HCl、HBr）来稀释可燃性气体。

6）利用吸热反应来降低受热温度（如氢氧化铝在 200～300℃吸热脱水）。

### 2.3.35　隔热保温涂料的组成和性能分别是什么？

保温涂料由粘合剂、纤维材料、轻质保温骨料、填料、助剂等部分组成的。保温涂料配方组成（质量分数）大致如下：粘合剂 5%～20%，轻质保温骨料 30%～40%、纤维材料 10%～30%，填料 5%～10%，助剂及其他 1%～5%。

1）粘合剂分为无机粘合剂和有机粘合剂两种类型。无机粘合剂可以是水玻璃、磷酸盐、硅溶胶（高温）、高铝水泥（中温）、水泥（常温）或石膏（常温）等，统称硅酸盐、复合硅酸盐或稀土复合硅酸盐等。无机粘合剂保温涂层较脆，碰撞易碎裂，但耐高温，使用温度范围广。有机粘合剂可以是丙烯酸乳液、有机硅改性丙烯酸乳液、氟碳树脂乳液、聚醋酸乙烯乳液、醋酸乙烯—乙烯共聚乳液、聚乙烯醇等，合成树脂乳液的粘接作用及与基底的附着力强。有机粘合剂保温涂层的弹性好，但耐高温性较差。

2）纤维材料相互之间应该有着复杂的联结、交叉和搭接形式，存在着微小的间隙，这种间隙可以构成好的保温、隔热和吸声功能。同时，纤维材料应具有较强的亲水性，易于被分散或者着色处理。常用的纤维材料有矿物棉、聚丙烯纤维、玻璃纤维、硅酸铝纤维和海泡石等。

3）轻质保温骨料主要有聚苯乙烯泡沫、膨胀珍珠岩、真空玻璃微珠。聚苯乙烯泡沫价格低廉、质轻，具有良好的保温、隔热、吸声作用。发泡聚苯乙烯是轻质保温骨料中最轻的，是配制轻质保温涂料的首选，能使保温涂料的热导率控制得较低。膨胀珍珠岩是一种质轻、高效能的保温材料，具备化学稳定性好、耐腐蚀等优点，且无毒，无味，不燃，但膨胀珍珠岩的微孔结构在外力作用下容易被破坏。真空玻璃微珠具有如图 2-3 所示的保温涂层结构，这样的真空玻璃微珠可以显著减少热辐射、热对流和热传导率，绝热效率更高，保温性优异。

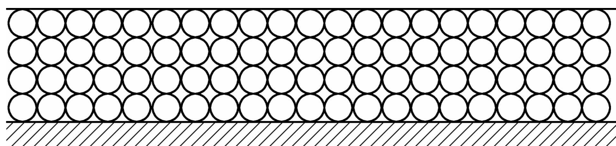


图 2-3　真空玻璃微珠的保温涂层结构

常用保温骨料的主要物理性质见表2-26。

表2-26 常用保温骨料的主要物理性质

| 材料名称 | 外观状态 | 结构特点 | 表观密度/($kg/m^3$) | 常温导热系数/[W/(m·K)] |
|---|---|---|---|---|
| 膨胀珍珠岩 | 松散颗粒 | 内部呈气泡状,多孔结构 | 80~100 | 0.03~0.04 |
| 膨胀蛭石 | 松散颗粒 | 细薄的叠层结构,其间充满微细孔隙 | 80 | 0.047 |
| 发泡聚苯乙烯 | 松散颗粒 | 蜂窝状微细闭孔结构 | 20 | 0.03~0.05 |
| 矿岩棉 | 絮状纤维 | 纤维平均直径=7μm | 150 | 0.07 |
| 真空玻璃微珠 | 微细珠粒 | 约100μm,粒度分布均匀 | — | — |

其中膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、矿岩棉等材料疏松多孔，亲水吸附强，保温涂层的吸湿性及渗水性强，这会大大降低材料的保温隔热性，在保温隔热层的上面还需有一层致密的防水层。

由于轻质保温骨料颗粒较粗，在单独使用时会聚集成疏松而孔隙很大的涂膜，甚至不能使涂膜呈连续状态，且由于其附着力低，易产生针眼孔隙和积尘污染等现象。为了提高涂膜的附着力，常常用200~325目的粉状填料充填保温骨料之间的孔隙而使涂膜致密、表面平整。

4）常用的粉状填料有滑石粉、轻质碳酸钙、粉煤灰、漂珠等，其中漂珠由于中空，可赋予涂膜较好的保温性。

5）助剂主要有分散剂、增稠剂和发泡剂等。其中分散剂可以是阴离子表面活性剂、多聚磷酸盐等。增稠剂可以是膨润土及各类纤维素，如甲基纤维素、羧甲基纤维素、羟乙基纤维素等。

### 2.3.36 发光涂料的组成和特性分别是什么?

发光涂料主要由基料、发光材料、涂料助剂及溶剂配制而成。

（1）基料　为了保证发光涂料能够获得良好的发光性能和发光亮度，基料要求具备无色、透明的特点，可采用丙烯酸树脂、氨基树脂、聚氨酯等涂料树脂。

（2）发光材料　发光材料的实质为微细的粉状物质，有硫化锌系、硅酸盐系和碱土铝酸盐系等三种。这些材料用$Eu^{2+}$稀土掺杂可以赋予其良好的长余辉发光性能。

（3）涂料助剂及溶剂　为了避免破坏发光粉的发光特性，发光涂料助剂不得含有重金属，采用的助剂是分散剂和防沉剂。分散剂来提高发光粉的分散效率，可以获得微细粒度的发光粉。防沉剂的作用是提高发光粉的贮存稳定性能（发光粉的密度3.6~4.1$g/cm^3$，密度较大，易沉降）。

一般来说，发光涂料的干膜厚度至少在150μm以上，且在涂装时应先涂白漆底涂层，以提高反光强度，并且在发光涂层表面罩一道清漆保护发光涂层。为了提高发光涂料的余晖亮度、发光时间及涂层的表面光泽度与耐久性，涂装施工时应有一定的涂层厚度和相对应的配套体系。

### 2.3.37 新型涂料产品有哪些?

（1）光固化涂料　光固化涂料可在纸张、塑料、皮革和木材等易燃底材上迅速固化成膜，且不需加热，又称光敏涂料。以紫外光为涂料固化能源，又称紫外光固化涂料。

（2）粉末涂料　粉末涂料不含任何溶剂，以环氧聚酯粉末涂料为最多，最初用于

防腐，20 世纪 60 年代用于电子产品，目前已发展到应用于家用电器等作表面装饰。热塑性的包括 PE、PP、PVC、聚酯、聚酰胺、聚四氟乙烯等，涂料由树脂、颜料和填料、流平剂、稳定剂等组成；热固性包括环氧、聚酯、丙烯酸、聚氨酯等，涂料中含有固化剂。粉末涂料涂膜最厚可达数百微米，并有良好物理力学性能，涂料利用率高达 95% 以上，是节省资源的环保型涂料。

（3）水溶性涂料　凡是用水作溶剂或者作分散介质的涂料，都可称为水溶性涂料。以水溶性树脂为成膜物，以聚乙烯醇及其各种改性物为代表，除此之外还有水溶醇酸树脂、水溶环氧树脂及无机高分子水性树脂等。水性涂料包括水溶性涂料、水稀释性涂料、水分散性涂料（乳胶涂料）三种。

（4）高固体分涂料　高固体分涂料中溶剂的体积浓度一般小于 30%。高固体分厚浆漆产生收缩应力的可能性比含溶剂多的传统溶剂型涂料小，符合环保的要求。例如丙烯酸或聚氨酯高固体分清漆常用于轿车水性闪光漆的罩光，涂膜光亮丰满，鲜映性可达 1.0DOI 以上，具有良好的装饰性和环境性。常见的高固体分涂料有丙烯酸或聚氨酯类高固体分烤漆、环氧类高固体分涂料、聚氨酯类高固体分涂料、不饱和聚酯类高固体分涂料、硅酯类高固体分涂料等几种。

### 2.3.38　光固化涂料的种类和优缺点分别是什么？

光固化涂料主要品种有木器涂料、塑料涂料、纸张涂料、皮革与织物涂料、卷材涂料、光纤涂料和金属涂料等，它们普遍具有高光泽和高耐磨性。

光固化涂料优点是节省能源，能量利用率高；无溶剂排放，安全无污染；固化速度快，生产效率高；可涂装对热敏感的基材；涂膜质量高、涂层性能优异，是省能源、省资源、无公害、高效率的涂料新品种。其缺点是自由基型光固化涂料固化过程受氧气阻抑，表面固化不良，且对灰尘敏感（施工环境要求严格），不规则物体不易操作，价格稍贵等。

### 2.3.39　光固化涂料由什么组成？

光固化涂料是由聚合型树脂、光敏剂和活性稀释剂等组成的。此外，还加入能透过紫外光的体质颜料、着色颜料及助剂。

（1）聚合型树脂（光敏树脂）　它是含有双键的预聚物或低聚物。常用的品种有不饱和聚酯、丙烯酸聚酯、丙烯酸化聚氯脂、丙烯酸化环氧酯等。

（2）光敏剂（光聚合引发剂）　光敏剂是近紫外光区（波长为 300 ~ 400nm）的光激发而能产生自由基的物质。

（3）活性稀释剂　活性稀释剂能降低树脂粘度，以利于施工，同时又能参与共聚反应，起到使树脂交联固化的作用。

（4）其他组分　为了改善光固化涂料的某些性能，常需加入其他组分。如提高光敏剂催化效率的促进剂（二甲基乙醇胺和亚磷酸三苯酯等）；改善涂料流平性的流平剂（如乙基纤维素和醋丁纤维素等）；提高光固化涂料稳定性的稳定剂（如柠檬酸-N-亚硝基环己胺基羟胺甲盐、新戊二醇羟基叔戊酸酯等）。

### 2.3.40　光固化涂料有哪些应用？

光固化涂料以不饱和聚酯应用最多，且主要应用于木材和家具的涂饰。

不饱和聚酯光固化涂料又分为蜡型和非蜡型两种，前者使用时步骤繁琐，固化后需磨去蜡层，并抛光，只适合于厚涂层，但涂料成本低。非蜡型产品使用方便，涂层可薄可厚，价格稍贵。

因为大多数着色颜料对紫外光的透过率低，所以难于制成色漆。目前已工业化的光固化涂料多为清漆，其用途见表2-27，其中以木材涂装为主体，其次在塑料、纸张、金属涂装方面也有应用。光固化涂料主要用于木材涂装，特别是组合家具的生产自动流水线涂装。在欧洲以不饱和聚酯品种为主，用于刨花板的填孔。在日本多用它作为家具和房屋装修的面漆。

**表2-27 固化涂料的种类和用途**

| 种　类 | 主要用途 | 涂装方式 | 固化时间① |
|---|---|---|---|
| 木材封闭底漆 | 刨花板底漆、胶合板填孔 | 逆向辊涂机辊涂 | <60s |
| 蜡型清漆 | 一般木材用清漆 | 刷涂、喷涂、辊涂、帘式淋涂机淋涂 | 1~2min |
| 无蜡型清漆 | 一般木材用清漆木材打底 | 喷涂、辊涂帘式淋涂机淋涂 | <90s |
| 塑料清漆 | 塑料经真空镀膜后涂漆 | 喷涂 | <120s |
| 金属清漆 | 铝材用<br>罐用清漆<br>印铁有光清漆 | 辊涂 | 1~120s |
| 纸张清漆 | 建材、化妆用印刷纸张面漆一般印刷有光清漆 | 辊涂 | 0.5~1s |

① 为采用适当照射设备时的标准固化时间。

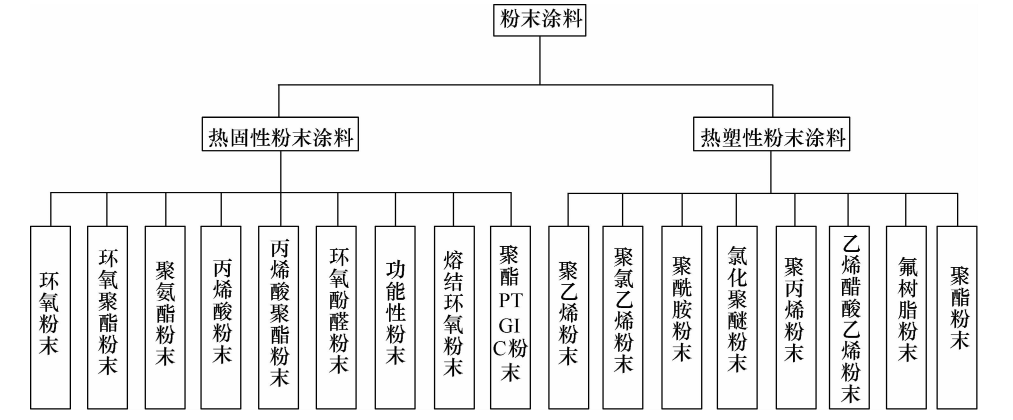
## 2.3.41 粉末涂料的分类有哪些?

粉末涂料按使用的合成树脂分为热塑性和热固性两大类。

热塑性粉末涂料品种较多。典型的有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚酰胺、热塑性树脂和氯化聚醚等。

热固性粉末涂料是以热固性树脂作为主要成膜物质。其典型品种有环氧、聚酯、丙烯酸和聚氨酯等。

随着热固性粉末涂料应用范围的扩大，又研制了高光、半光和无光粉末涂料。随着装饰性涂料应用的扩大，美术型粉末涂料相继问世，其中有皱纹型、龟甲型、花纹型、金属闪光型、锤纹型和梨皮型等品种。粉末涂料的分类如下所示：



### 2.3.42　粉末涂料的特点有哪些?

（1）不连续性　它是单独粒子的集合体，因而易产生不连续性、堵塞和凝结等现象。

（2）比表面积大　易产生吸湿、粘附、粉尘爆炸等现象。

（3）粒子形状的不规则性　粉末粒子的形状和大小无规则，有特定的分散、堆积状态、重量和空隙率，易变形和改变流动状态。

（4）飞散性　粒径越小，越易飞散。

（5）附着性　粉末的粒径越小，越易吸附。

（6）流动性　粉末被风吹后具有流动性质。

### 2.3.43　新型涂料中水溶性涂料的分类有哪些?

根据其主要成分的不同，分为以下四类：

1）第一类是以丙烯酸为主要成分的水性木器漆，主要特点是附着力好，不会加深木器的颜色，但耐磨及耐化学药品性较差，涂膜硬度较软，铅笔法测试为 HB，丰满度较差，综合性能一般，施工易产生缺陷。该种涂料价格便宜。

2）第二类是以丙烯酸与聚氨酯的合成物为主要成分的水性木器漆，其特点除了秉承丙烯酸漆的特点外，又增加了耐磨及耐化学药品性强的特点，有些企业标为水性聚酯漆。涂膜硬度较好，铅笔法测试为 1H，丰满度较好，综合性能接近油性漆。

3）第三类是聚氨酯水性漆，其综合性能优越，丰满度高，漆膜硬度可达到 1.5 ~ 2H，耐磨性能超过油性漆，使用寿命、色彩调配方面都有明显优势，为水性漆中的高级产品。

4）第四类则是一些伪水性漆，使用时还要添加固化剂或化学品，比如硬化剂、涂膜增强剂、专用稀释水等，有些也可以加水稀释，但溶剂含量很高，对人体危害更大。

### 2.3.44　什么是涂料用树脂的水性化?

水性涂料用树脂通过三个途径赋予水性化：

1）在树脂分子链中引入胺基（或羧基），用酸（或碱）中和形成阳离子型（或阴离子型）树脂，能溶于或增溶分散于水中。

2）在树脂分子链引入一定数量的强亲水性基团，如羧基、羟基、氨基、醚基、酰胺基等，自乳化而分散于水中。

3）外加乳化剂乳液聚合，或对树脂强制乳化形成水分散液。

有时几种方法同时并用，以提高水分散性及水分散液的稳定性。

### 2.3.45　不同类型水性涂料的性能有何不同?

水性涂料体系通常分为三类：水溶性、胶束分散型、乳液。其性能比较见表 2-28。

**表 2-28　水性涂料性能比较**

| 项　　目 | 乳　　液 | 胶束分散型 | 水　溶　性 |
|---|---|---|---|
| 物理性能: | | | |
| 外观 | 不透明 | 半透明 | 清澈透明 |
| 粒径/μm | 0.1 ~ 1.0 | 0.01 ~ 0.1 | <0.01 |
| 相对分子质量 | $(0.1\sim1)\times10^6$ | $(1\sim5)\times10^4$ | $(5\sim10)\times10^3$ |
| 粘度 | 稀,与相对分子质量无关 | 稀稠与相对分子质量相关 | 取决于相对分子质量 |

（续）

| 项目 | 乳液 | 胶束分散型 | 水溶性 |
|---|---|---|---|
| 配方特性： | | | |
| 颜料分散性 | 差 | 好~优 | 优 |
| 颜料稳定性 | 一般比其他的好 | 由颜料决定 | 由颜料决定 |
| 粘度控制 | 需增稠剂 | 加助溶剂增稠 | 由相对分子质量控制 |
| 成膜能力 | 需成膜助剂 | 好,需少量成膜助剂 | 优良 |
| 使用性能： | | | |
| 施工粘度下的固体含量 | 高 | 中等 | 低 |
| 光泽 | 最低 | 高 | 最高 |
| 抗介质性 | 优 | 好~优 | 差~好 |
| 坚韧性 | 最好 | 中等 | 最低 |
| 耐久性 | 优良 | 很好~优 | 很好 |

### 2.3.46 水性涂料有哪些特点?

1）水性涂料以水作溶剂，节省大量资源；水性涂料消除了施工时火灾危险性；降低了对大气污染；水性涂料仅采用少量低毒性醇醚类有机溶剂，改善了作业环境条件。

2）水性涂料对材质表面适应性好，涂层附着力强，在湿表面和潮湿环境中可以直接涂覆施工。

3）水性涂料涂装工具可用水清洗，大大减少清洗溶剂的消耗量。

4）水性涂料电泳涂膜均匀、平整，展平性好，内腔、焊缝、棱角、棱边部位都能涂上一定厚度的涂膜，有很好的防护性。电泳涂膜有最好的耐腐蚀性。

### 2.3.47 水性涂料存在哪些问题?

1）水性涂料对施工过程中及材质表面清洁度要求高，因水的表面张力大，污物易使涂膜产生缩孔。

2）水性涂料对抗强机械作用力的分散稳定性差，输送管道内的流速急剧变化时，分散微粒被压缩成固态微粒，使涂膜产生麻点。

3）水性涂料对涂装设备腐蚀性大，需采用防腐蚀衬里或不锈钢材料，设备造价高。水性涂料对输送管道有腐蚀，使金属溶解、微粒析出，涂膜产生麻点，必须采用不锈钢管。

4）烘烤型水性涂料对施工环境条件（温度、湿度）要求较严格，增加了调温调湿设备的投入，同时也增大了能耗。

5）水性涂料水的蒸发潜热大，烘烤能量消耗大。

6）水性涂料沸点高的有机助溶剂等在烘烤时产生很多油烟，凝结后滴于涂膜表面影响外观。

### 2.3.48 高固体分涂料有哪些特点?

（1）大气污染低　高固体分涂料的固体含量（体积分数）一般在65%~80%之间（清漆和深色漆较低，约为65%；浅色漆较高，可达80%以上），有机溶剂含量仅有35%~20%，远比一般溶剂型涂料的溶剂含量低得多，在喷涂和干燥的过程中溶剂散发造成的大气污染就较少。

（2）施工效率高　由于涂料固体分高，一道涂膜厚，大大提高作业效率。

（3）装饰性好　高固体分涂料具有溶剂型涂料的装饰性。

（4）涂料用树脂要求较高　高固体分涂料只能采用相对较低的相对分子质量且相对分子质量分布很窄的树脂作成膜物质，使树脂分子中反应基团的反应能力一致，同时在一般烘干工艺条件下有良好的固化成膜性能。

（5）高固体分涂料需要专门的流变添加剂　由于树脂相对分子质量低，在烘干初始阶段，热致稀作用强，涂膜易流挂，因此需要专门的流变添加剂。

## 2.4　涂料溶剂和助剂

### 2.4.1　涂料溶剂的组成和作用分别是什么？

1. 涂料溶剂的组成

涂料中使用的溶剂是挥发性的有机液体，可以降低成膜物质的粘度，便于施工并得到均匀连续的保护涂膜。施工后，成膜物质中的溶剂应全部蒸发除去而无残余物。涂料用溶剂一般为混合溶剂，由三大部分组成，即真溶剂、助溶剂和稀释剂。

（1）真溶剂　可完全溶解涂料树脂的，可以是单组分或多组分的液体。

（2）助溶剂　本身没有溶解成膜物质的能力，但若以适当的比例与某种溶剂一起使用，不会引起有害的影响，有些反而能增强溶解能力的溶剂。

（3）稀释剂　加入的有些溶剂尽管不能溶解涂料中的成膜物质，但可降低涂料粘度和成本的，叫稀释剂或冲淡剂。它是用来溶解、稀释涂料，使其达到涂装粘度的溶剂。

从溶剂的溶解力、挥发率、安全性和经济效果各方面考虑，用混合溶剂作稀释剂往往是比较合适的。涂料施工中大多是用混合溶剂作稀释剂。总之，这些不影响溶解效果，但能降低涂料粘度的溶剂系统，可与涂料相互共存。

2. 溶剂的作用

无论在制漆中，还是在涂装时，选择溶剂都十分重要，它直接影响涂料性能、施工性能和涂膜的质量。溶剂在涂料中的作用有：①溶解树脂；②使组成成膜物的组分均一化；③改善颜料和填料的润湿性，减少颜料的漂浮；④延长涂料的存放时间；⑤在生产中调整操作粘度，用溶剂来优化涂料，减少问题的发生；⑥改善涂料的流动性和增加涂料的光泽；⑦在涂刷时，有利于被涂表面与涂料之间的润湿；⑧当涂刷垂直物体表面时，可校正涂料的流挂性及物理干燥性；⑨减少刷痕、气孔、接缝及涂料的浑浊。

在涂装作业时，选择溶剂不当会影响干燥效果和施工性能，会产生白斑、针孔、失光、桔皮等弊病，严重时会造成胶凝、分层、沉淀等现象，致使其报废。同时，各种溶剂的溶解力及挥发率等因素对于制成的漆在生产、贮存、施工及漆膜光泽、附着力、表面状态等多方面性能都有极大影响。

### 2.4.2　涂料溶剂的分类有哪些？

1）按化学结构分类有：烃类溶剂（烷烃、烯烃、环烷烃、芳香烃）；醇、酯、酮、醚类溶剂；卤代烃溶剂；含氮化合物溶剂以及缩醛类、呋喃类、酸类、含硫化合物等溶剂。

2）按溶剂的沸点分类有：低沸点溶剂（常压下沸点在100℃以下）；中沸点溶剂（沸点在100～150℃）；高沸点溶剂（沸点在150℃以上）。

3）按溶剂的极性分类有：极性溶剂（指酮、酯等具有极性和较大的介电常数及偶极矩大的溶剂）；非极性溶剂（指烃类等无极性功能基团，介电常数、偶极矩小的溶剂）。

4）按溶剂的溶解能力分类有：①溶剂，指能单独溶解溶质，一般不包含助溶剂和稀释剂的溶剂；②助溶剂，如醇类对硝化纤维素的溶解；③稀释剂，例如甲苯、二甲苯、庚烷等烃类都可作为硝化纤维素的稀释剂。

5）按氢键强弱和形式分类主要有三种类型：①弱氢键溶剂，主要包括烃类和氯代烃类溶剂。烃类溶剂又分为脂肪烃和芳香烃。商业上脂肪烃溶剂是直链脂肪烃、异构脂肪烃、环烷烃及少量芳烃的混合物。优点是价格低廉，芳烃较脂肪烃贵，但能溶解许多树脂；②氢键接受型溶剂，主要指酮和酯类。酮类溶剂较酯类溶剂便宜，但酯类溶剂较酮类溶剂气味芳香；③氢键授受型溶剂，主要为醇类溶剂，常用的有甲醇、乙醇、异丙醇、正丁醇、异丁醇等。大多数乳胶漆中也含有挥发性慢的水溶性醇类溶剂，如乙二醇、丙二醇等，目的之一是降低凝固点。

### 2.4.3　混合溶剂的配置原则是什么？

1）配成的溶剂对涂料应具有良好的溶解能力，能与被稀释涂料完全混溶，不应产生胶凝、分层、沉淀等现象。

2）混合溶剂中的有机溶剂应无水分、沉渣和油类，溶液应是均一颜色。

3）混合溶剂挥发速度应均匀，形成的涂膜平整光洁，无针孔、白斑、桔皮等弊病。

4）要考虑溶剂毒性对人体的危害作用，尽量选用毒性小的溶剂，如苯类有致癌性的溶剂要少用或不用。

5）要考虑经济效益，价格便宜，真溶剂和助溶剂的比例适宜，一般比例在（3∶2）～（2∶3）之间。

### 2.4.4　施涂常用溶剂时的注意事项有哪些？

（1）苯　苯的毒性较大，极易燃烧，与氧化剂接触反应剧烈，易产生和积聚静电。

（2）醋酸乙酯　醋酸乙酯易燃，与氧化剂接触可引起燃烧。

（3）乙醇　乙醇易燃，与氧化剂反应剧烈。

（4）甲苯　甲苯有毒，遇明火、高温能燃烧，易产生和积聚静电。

（5）三氯乙烯　三氯乙烯对铝、镁合金有一定的腐蚀作用，毒性小，去污能力强。

（6）醋酸丁酯　醋酸丁酯毒性小，溶解力次于醋酸乙酯，挥发速度中等。

（7）正丁醇　正丁醇味难闻，有一定毒性，与氧化剂接触能引起燃烧。

（8）乙醇单丁醚　乙醇单丁醚挥发慢，可防止漆膜泛白、结皮。

（9）二氯乙烷　二氯乙烷非易燃品，蒸气对人体毒害大。

（10）二甲苯　二甲苯有毒，遇明火、高温能燃烧，易产生和积聚静电。

（11）丙酮　丙酮易燃，挥发极快，手触极冷，有毒。

（12）环已酮　环已酮遇明火、高温、氧化剂有燃烧危险。

（13）松香水　松香水遇明火、高温、氧化剂有起火危险，遇硝酸会立即起火。

### 2.4.5　怎样选择涂料用溶剂？

由于溶剂的种类和涂料的种类都很多，不同情况下需要选择的溶剂也有所不同，因此在实际生产时应当合理地选择溶剂的种类。其选择步骤主要如下：

1）通过溶解参数值选择能溶解树脂的溶剂或混合溶剂。

2）建立溶剂或混合溶剂的挥发轮廓图。

3）优化溶剂或混合溶剂以满足树脂的溶解性和涂料的其他性能。

4）实验验证所选择的溶剂或混合溶剂。

通过上述步骤的调整和进一步改善，最终得到能满足涂料各方面性能的混合溶剂。不同涂料常用的溶剂见表 2-29。

**表 2-29　不同品种涂料所用溶剂系统**

| 涂料品种 | 溶剂系统 |
|---|---|
| 油脂涂料 | 松节油、200#溶剂汽油、苯类溶剂 |
| 天然树脂涂料 | 松节油、200#溶剂汽油 |
| 酚醛树脂涂料 | 200#溶剂汽油、煤油、松节油、二甲苯、X-6[松香水(70)：二甲苯(30)] |
| 沥青涂料 | 重质苯、二甲苯、200#煤焦溶剂 |
| 醇酸树脂涂料 | 200#溶剂汽油、二甲苯、松节油、X-6[松香水(70)：二甲苯(30)] |
| 氨基树脂涂料 | 200#溶剂汽油、酯类、X-4[松香水(90)：丁醇(10)]、X-4[二甲苯(50)：丁醇(50)]、X-4[二甲苯(90)：丁醇(10)] |
| 硝基纤维素涂料 | X-1 硝基漆稀释剂[乙酸丁酯(50)：乙醇(10)：丁醇(20)：甲苯(20)](强溶解力型)[乙酸丁酯(29.8)：乙酸乙酯(21.2)：丁醇(7.7)：甲苯或苯(41)]<br>X-2 硝基漆稀释剂[乙酸丁酯(10)：乙基溶纤剂(8)：丙酮(7)：丁醇(15)：乙醇(10)：甲苯(50)]<br>[乙酸丁酯(18)：乙酸乙酯(9)：丙酮(3)：丁醇(10)：乙醇(10)：甲苯(50)]<br>硝基漆稀释剂(刷用型)[乙基溶纤剂(30)：丁醇(20)：二甲苯(50)]<br>硝基漆稀释剂(供刷漆修补用)[乙基溶纤剂(20)：丁醇(30)：二甲苯(50)] |
| 纤维素涂料 | 丙酮、乙酸乙酯、乙二醇单甲醚、二丙酮醇、甲乙酮、乙醇、乙基纤维素稀释剂[乙酸乙酯(10)：丙酮(10)：乙醇(20)：甲苯(60)] |
| 过氯乙烯涂料 | X-3 过氯乙烯稀释剂[乙酸丁酯(12)：丙酮(26)：甲苯(62)]或[乙酸丁酯(30)：丙酮(30)：二甲苯(40)]<br>过氯乙烯稀释剂[乙酸丁酯(30)：丙酮(60)：二甲苯(10)]<br>过氯乙烯稀释剂[二甲苯(85)：丙酮(15)] |
| 乙烯树脂涂料 | 二甲苯、乙酸酯、X-3 过氯乙烯稀释剂(见过氯乙烯涂料)，其中聚乙酸乙烯树脂溶于甲醇、乙醇、苯、二甲苯 |
| 丙烯酸树脂涂料 | 乙酸丁酯、二甲苯、丁醇、酮的混合溶剂<br>丙烯酸稀释剂[乙醇丁酯(20)：二甲苯(60)：环已酮(20)]<br>X-5 丙烯酸稀释剂[二甲苯(70)：丁醇(30)] |

（续）

| 涂 料 品 种 | 溶 剂 系 统 |
|---|---|
| 聚酯树脂涂料 | 甲苯、二甲苯、芳烃类混合溶剂 |
| 环氧树脂涂料 | 环己酮、丙酮、酯等<br>环氧树脂稀释剂［甲苯（80）∶丁醇（20）］<br>［二甲苯（70）∶丁醇（30）］<br>［丁酮（20）∶乙基溶纤剂（30）∶甲苯（50）］ |
| 聚氨酯涂料 | 甲苯、二甲苯、环己酮混合溶剂<br>X-10 聚氨酯稀释剂［二甲苯（60）∶乙酸丁酯（25）∶环己酮（15）］ |
| 有机硅涂料 | 芳烃类、酯类、高沸点芳烃混合溶剂 |
| 氯化橡胶涂料 | 二甲苯、200#煤焦溶剂、高沸点芳烃溶剂 |

### 2.4.6 涂料助剂的分类及其各自特性是什么?

涂料助剂的种类和品种繁多，采用不同的分类标准可将其分为不同类别：

1）根据助剂对涂料体系中基料或颜料表面性能的影响，将涂料助剂分为表面活性助剂和非表面活性助剂两类。

2）根据助剂对涂料和涂膜所起的作用，助剂可以分为以下四种类型：①对涂料生产过程发生作用的助剂，如润湿分散剂（常用的溶剂型涂料的润湿分散剂见表 2-30）、消泡剂（其主要品种和特性见表 2-31）、乳化剂（常用乳化剂的成分、性能及用途见表 2-32）和引发剂；②对涂料贮存过程发生作用的助剂，如防沉淀剂（主要品种的性能与用途见表 2-33）等；③对涂料施工成膜过程发生作用的助剂，如流平剂、固化剂、防流挂剂等；④对涂膜性能发生作用的助剂，如成膜助剂、增塑剂、消光剂、阻燃剂、防静电剂、防霉杀菌剂等。

**表 2-30 常用的溶剂型涂料的润湿分散剂**

| 商品名称 | 组 成 | 制造公司 | 离子型 | 状 态 | 有效成分（质量分数,%） | 主 要 用 途 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Anti-Terra-V | 长链多氨基酰胺和高分子酸酯的盐 | 德国 BYK 公司 | 电中性 | 清澈浅褐色液体 | 49～51 | 主要用于面漆，适合于所有的无机和有机颜料的润湿分散，对环氧和聚氨酯高固体分涂料有非常好的润湿分散作用<br>按颜料量计：有机颜料使用量为 1.0%～5.0%，无机颜料为 0.2%～2.0%；总漆量的 0.1%～1.0% |

（续）

| 商品名称 | 组　成 | 制造公司 | 离子型 | 状　态 | 有效成分（质量分数,%） | 主 要 用 途 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Anti-Terra-P | 长链多氨基酰胺磷酸盐 | 德国 BYK 公司 | 阳离子型 | 清澈浅褐色液体 | 39 ~41 | 对氧化铁、铬系颜料、镉系颜料、重晶石粉、磷酸钙等颜料在醇酸、氨基、氯化橡胶改性醇酸中使用具有良好的润湿分散作用,同时具有防沉淀作用<br>按颜料量计:有机颜料为 1.0% ~1.5%;无机颜料为 0.2% ~2.0%;总漆量的 0.1% ~1.5% |
| Anti-Terra-203 | 高分子聚羧酸盐 | BYK 公司 | 电中性 | 浅褐色液体 | 49 ~52 | 用于双组分涂料中不影响使用寿命。用于底漆中,在铬酸锌漆中加入 2%,可具有极好的防沉淀、防流挂性,可以和膨润土混用,为膨润土量的 30% ~50%。在漆中使用,按颜料使用量计,无机颜料量为 0.5% ~1.5% |
| BYK-P-104<br>BYK-P-104S | 高分子不饱和的聚羧酸 | BYK 公司 | 阴离子型 | 浅褐色液体 | 49 ~51 | 可在大多数涂料中应用,在钛白和着色颜料同时使用时可防浮色、发花并防止碱性颜料碳酸钙的沉淀。P-104S 含有机硅树脂,有良好流平性;无机颜料使用量为 0.5% ~2.5%;总漆量为 0.1% ~1.0% |
| CP-88 | 磷酸酯盐 | | 阴离子型 | 棕褐色粘稠液体 | | 适用于多种涂料的多数颜料的润湿分散作用,具有良好的防沉淀效果<br>无机颜料用置为 0.3% ~0.8%,总漆量为 0.2% ~0.5% |
| PD-85 | 脂肪酰二乙醇胺 | | 非离子型 | 粘稠液体 | | 对铁蓝、炭黑具有较好的润湿分散效果,使用量为颜料量的 0.5% ~1% |
| TC-1 | 三异硬脂酰基钛酸异丙酯 | | 偶联剂单烷氧基型 | 棕色液体 | 100 | 对铁红、中铬黄、钛白等有一定分散效果,用量为颜料量的 0.5% ~1.0% |
| Texaphor-963 | 聚羧酸和胺的衍生物的盐 | 德国 Henkel 公司 | 电中性盐 | 清澈棕色液体 | | 对钛白、立德粉、氧化铬绿、氧化铁等无机颜料及甲苯胺红、汉沙黄、酞菁蓝、绿等有机颜料及高岭土、沉淀硫酸钡、重晶石粉等具有较好润湿分散性。用量为颜料量的 0.1% ~2.0% |

**表 2-31　消泡剂的主要品种和特性**

| 商品名称 | 组　成 | 特　点 | 主要用途 |
|---|---|---|---|
| SPA-102 | 醚酯化合物有机磷酸盐的复配物 | 不产生缩孔，无不良副作用 | 可用于乳胶涂料 |
| SPA-202 | 硅、酯、乳化剂等的复合型 | 用量少、效率高、消泡持久性强、无不良副作用，可改善涂刷性 | 可用于苯丙、乙丙、纯丙等各种乳液和乳胶涂料也可用于聚乙烯醇内外墙涂料 |
| 201 甲基硅油 | 聚甲基硅醚 | 无色透明液体 | 可用于溶剂型涂料及水性涂料的消泡剂、润湿剂，用量为总漆量的 0.1% ~0.5% |

**表 2-32　常用的乳化剂组成、性能及用途**

| 商 品 名 | 成　分 | 性能与用途 |
|---|---|---|
| 乳化剂 EL | 聚氧乙烯蓖麻油 | 黄棕色膏状物，pH 值 7，可用于各种乳液的制备，用量为单体量的 0.5% ~6% |
| SAS | 烯烃磺酸钠<br>$R—SO_3Na$<br>$R = C_{16}H_{33}$<br>阴离子表面活性剂 | 微黄色透明液体，水溶性好，活性物 28 ±1% |
| AES | 脂肪醇聚氧乙烯醚磺酸钠<br>$RO(CH_2CH_2O)_3—SO_3Na$<br>$R = C_{12}—C_{14}$<br>阴离子表面活性剂 | 浅黄色粘稠液体，易溶于水，多与非离子型乳化剂并用，pH 值 7 ~9.5，活性物 30% ~70% |
| LAS | 烷基苯磺酸钠<br>$R—C_6H_4—SO_3Na$<br>$R=C_{12}H_{35}$<br>阴离子型 | 白色浆状物，溶于水，pH 值 7 ~9，活性物 40% |
| S-60<br>(Span-60) | 失水山梨醇硬脂酸酯<br>非离子型表面活性剂<br>$C_{17}H_{35}—C(=O)—O—$（失水山梨醇环，含 OH、OH、$CH_2OH$） | 棕黄色蜡状物，溶于热油和多种有机溶剂，不溶于水，无毒，无味，用量为总量 1% ~6% |
| OP-10 | 聚氧乙烯烷（芳）基酚醚<br>$R—C_6H_4—O-(CH_2CH_2O)_{10}H$<br>非离子型表面活性剂 | 浅黄色粘稠物，可溶于水，可与各类表面活性剂混用，pH 值 6 ~7.5，为树脂聚合乳化剂 |
| OS | 聚氧乙烯烷基酚醚二元脂肪酸酯阴离子型表面活性剂 | 黄色透明液体，用于乳胶漆，用量为 1% ~6% |

表 2-33　防沉淀剂主要品种的性能与用途

| 商　品　名 | 成　　分 | 性能与用途 |
|---|---|---|
| TF4604A 和 TF4604B 有机膨润土 | 有机膨润土 | 灰白色粉末，可用于各种色漆及底漆，具有触变、防沉作用。用量为总漆量的 0.1% ~1.0%<br>动力粘度：<br>TF4064A 为 300Pa · s<br>TF4064B 为 500Pa · s |
| TF4611 有机膨润土 | 有机膨润土 | 灰白色粉末，可用于各种溶剂型漆，具有触变、防沉作用。用量为总漆量的 0.1% ~1.0%<br>动力粘度为 1200Pa · s |
| 801 有机膨润土 | 有机膨润土 | 灰白色粉末，可用于各种溶剂型涂料，具有触变、防沉作用。用量为总漆量的 0.1% ~1.0% |
| 881 有机膨润土 | 有机膨润土 | 白色或灰白色粉末，可用于各种溶剂型涂料，具有触变、防沉作用，用量为颜填料量的 1% ~5% |
| B2P 膨润土 | 有机膨润土 | 浅灰白色粉末，用于各种溶剂型涂料，具有触变、防沉作用，用量为 0.1% ~1.0% |
| 膨通 40 | H 型有机蒙脱土 | 白色粉末，可用于各种溶剂型涂料，具有触变、防沉作用，用量为总漆量的 0.1% ~1.0% |
| GT100 超细氧化硅气凝胶 | 气相二氧化硅 | 流动性白色粉末，可用于环氧、环氧沥青等厚浆型涂料的增稠、防沉、触变，用量为总漆量的 2% ~3% |
| GP-88 防沉剂 | 磷酸酯 | 为棕色粘稠液体，适用于溶剂型涂料，可用于无机颜料润湿、分散、防沉。用量为颜填料量的 0.6% ~1.2% |
| 硬脂酸锌 | 硬脂酸锌 | 为白色粉末，可用于溶剂型涂料的润湿防沉和平光剂 |
| 硬脂酸铝 | 硬脂酸铝 | 为白色粉末，可用作润湿防沉剂和消光剂 |
| 防沉剂 201 | 聚乙烯蜡 | 为半透明白色流动糊状物，用于油性漆各种溶剂型的气干、烘干涂料，特别适用于浸渍涂装，用量为总量的 1.0% ~5.0% |

作为涂料助剂，一般应具有如下性能特点：

1）与涂料的相溶性好，因此要求涂料助剂应具有与树脂等尽量接近的结构。

2）涂料助剂的挥发性要低，稳定性要好。

3）涂料助剂本身应尽量无毒、无味、无臭、无色或浅色，不至于影响涂料的使用效果。

### 2.4.7　消泡剂的主要品种有哪些？

我国的水性涂料消泡剂近几年来发展较快性能较好的有 SPA-102、SPA-202（见表 2-31），国外消泡剂品种较多，见表 2-34 ~ 表 2-37。

表 2-34 日本 San Nopco 公司消泡剂

| 商品名称 | 性质 | | | 特点 | 用途 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 消泡性 | 水分散性 | 缩孔程度 | | 醋酸乙烯乳液 | 丙烯酸乳液 | 水溶性高聚物 | 乳胶 |
| Foamaster AP | B | A | A | 可广泛应用 | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Foamaster VL | A | B | B | 广泛使用 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| NOPCO 8034 | A | B | B | 所有水性体系有效 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| NOPCO 8034-L | A | A | B | 8034 的分散性改进产品 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SN-Defoamer 113 | A | B | B | 8034 的抗耐候性改进产品 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SN-Defoamer 154 | A | C | B | 持效性特别好 | ✓ | ✓ | | ✓ |
| SN-Defoamer 414 | A | B | B | 154 的分散性改进产品 | ✓ | ✓ | | ✓ |
| SN-Defoamer 456 | A | C | B | 水性漆的高效消泡剂 | ✓ | ✓ | | ✓ |
| NOPCO DF-122-NS | B | B | B | 特别适用于水溶性漆 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| NOPCO NXZ | A | B | B | 丙烯酸系有效、破泡性好 | | | | |

注：1. 有✓记号为适用。
2. 消泡性：A—特别好；B—优良；C—好。
3. 水分散性：A—水中分散良好；B—水中可分散；C—水中不分散。
4. 缩孔程度：A—无缩孔；B—微有缩孔；C—有缩孔。

表 2-35 英国 Bevaloid 公司消泡剂

| 商品名称 | 组分 | 状态 | 用途 |
|---|---|---|---|
| Bevaloid 667 | 复合物 | 不透明液体 | 聚醋酸乙烯乳液 |
| Bevaloid 6371 | 复合物 | 不透明浅色凝胶 | 苯乙烯、丙烯酸、聚酯酸乙烯乳液 |
| Bevaloid 618F | 复合物 | 不透明灰白色液体 | 聚醋酸乙烯均聚物、聚醋酸乙烯醋-丙烯酸、聚醋酸乙烯酯-烯烃、苯乙烯-丙烯酸、纯丙烯酸和聚氯乙烯的乳胶漆 |
| Bevaloid 581B | 100%活性物 | 白色液体 | 聚醋酸乙烯酯均聚物、三光聚合物乳化体系 |
| Bevaloid 680 | 表面活性剂复合物 | 浅棕色透明液体 | 丙烯酸，苯乙烯/丙烯酸系列 |
| Bevaloid 6223 | 复合物 | 不透明液体 | 聚偏二氯乙烯，聚醋酸乙烯丙烯酸 |
| Bevaloid 6420 | 复合物 | 清亮液体 | 大部分非水体系 |
| Bevaloid 311M | 复合物 | 清亮液体 | 大部分非水体系 |
| Bevaloid 6537 | 有机硅 | 不透明液体 | 大部分非水体系 |
| Bevaloid 6236 | 复合物 | 不透明液体 | 聚氨酯、聚酰胺、不饱和聚酯 |

表 2-36　德国 BYK 化学公司有机溶剂型涂料用消泡剂

| 基　　料 | 长油度醇酸<br>气干丙烯酸系 | 中油度醇酸<br>气干丙烯<br>酸共聚体 | 短油度醇酸<br>氯化橡胶 | 双组分聚氨基甲酸酯、聚氯乙烯共聚体醇酸/脲树脂、醇酸/三聚氰胺、丙烯酸/三聚氰胺 | 硝基纤维素 |
|---|---|---|---|---|---|
| 溶　　剂 | 脂肪族碳氢化合物 | 脂肪族、芳香族碳氢化合物 | 芳香族碳氢化合物 | | |
| 用　　途 | 装饰涂料、内墙涂料机械用涂料 | | 防腐涂料、工业涂料、汽车涂料、木器涂料 | | |
| BYK-051/052/053 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| BYK-065/BYK-0 | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| BYK-070 | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| BYK-080 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| BYK-141 | | | ✓ | ✓ | ✓ |

注：有✓记号为适用。

表 2-37　德国 BYK 化学公司水性涂料用消泡剂

| 基　　料 | 丙烯酸共聚体<br>醋酸乙烯共聚体 | | 纯丙烯酸系<br>丙烯酸共聚体 | 胺中和醇酸<br>醇酸乳液 | 硅酸盐 |
|---|---|---|---|---|---|
| 用　　途 | 内用漆 | 外墙涂料<br>高质量内用漆 | 有光/半光<br>乳胶漆 | 工业用水性漆 | 硅溶胶涂料 |
| BYK-W | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| BYK-031 | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| BYK-035 | | ✓ | ✓ | | |
| BYK-040 | | ✓ | ✓ | | |
| BYK-069 | | | | ✓ | |
| BYK-073 | | | ✓ | | |
| BYK-020 | | | | ✓ | |
| BYK-080 | | | | ✓ | |

注：有✓记号为适用。

## 2.5　涂料的选用

### 2.5.1　选定涂料的影响因素是什么？

（1）使用环境　是陆上建筑（一般腐蚀，轻度腐蚀，重度腐蚀），还是海上建筑。

（2）使用条件　常温下使用还是高温下使用；地面管道还是地下管道；接触何种介质。

（3）使用年限　各种钢结构有其一定的使用年限。

（4）维修方便程度　有的可以经常维修，很方便；有的在高空、高温、海洋中，维修一次花的辅助费用很大；一般来说，投资高一点，平常维修费用低，全寿命周期费用相对比较低。

（5）经济性　氯化橡胶底漆是红丹、铝粉铁红底漆价格的几倍，因此对于一般防腐结构，能用红丹、铝粉铁红等底漆解决问题的，就选用低价油漆，做到物尽其用，使其功能充分发挥。该用氯化橡胶系油漆的，成本高，使用年限长，全寿命周期费用并不高，就可以作经济技术分析后决定。

### 2.5.2　选用涂料的原则是什么？

选择涂料，既要满足产品涂装的质量要求，又要考虑经济效益。涂料选择原则有以下几点：

1）必须满足被涂产品的使用环境要求。

2）必须适应涂装产品材质的要求。

3）必须适应涂料的涂装特点。

4）必须与涂装前表面预处理方法相适应。

5）必须与干燥方法相结合。

6）必须与涂料的配套性一致。

7）必须兼顾经济效益。

### 2.5.3　涂料的选用方法是什么？

选择涂料的目的是为了满足各种产品涂装时对涂料性能的要求，同时体现艺术及装饰的美感、与环境的协调性及经济效益。涂料的选用方法如下：

（1）满足涂装产品的使用环境条件和涂层质量要求　涂装产品有多种多样的使用环境条件和涂层质量要求。选择适用涂料的性能和用途，必须满足各种涂装后的适用环境条件和对涂层的质量要求。各类涂料的适用环境条件见表2-38。

**表2-38　各类涂料的适用环境条件**

| 环境条件 | 油性漆 | 沥青漆 | 酚醛漆 | 醇酸漆 | 氨基漆 | 硝基漆 | 过氯乙烯 | 环氧漆 | 丙烯酸 | 聚氨酯 | 有机硅 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 在一般大气条件下使用，对防腐和装饰性要求不高 | ✓ | | ✓ | | | | | | | | |
| 在一般大气条件下使用，但要求耐候性好 | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓① | |
| 在一般大气条件下使用，但要求防潮防水性好 | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 在湿热条件下使用，要求有三防性（防湿热、防盐雾、防霉） | | | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 在化工大气条件下使用，或要求耐化学药品性较好 | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| 在高温条件下使用 | | | | | | | | | | | ✓ |

①　脂肪族。

（2）掌握涂料的性能及用途　涂料品种繁多，性能及用途不同，必须熟悉和掌握不同类别品种涂料所具有的多种多样的性能和用途，才能正确合理地进行选择，各类涂料的涂层性能对比见表 2-39。

**表 2-39　各类涂料的涂层性能对比**

| 涂料 \ 涂层性能 | | 耐盐雾 | 耐酸性 | 耐碱性 | 耐汽油性 | 耐水性 | 附着力 | 柔韧性 | 耐磨性 | 硬度 | 抗冲击性 | 最高使用温度/℃ | 耐候性 | 保光性 | 保色性 | 装饰性 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 酚醛 | | 5 | 3 | 2 | 4 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 | 120 ~ 177 | 3 | 2 | 1 | 一般 |
| 沥青 | | 5 | 3 | 4 | 1 | 5 | 5 | 5 | 2 | 3 | 5 | 70 ~ 93 | 2 | — | — | 一般 |
| 醇酸 | | 5 | 1 | 1 | 3 | 2 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 100 ~ 93 | 4 | 4 | 3 | 好 |
| 氨基 | | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 100 ~ 150 | 5 | 4 | 4 | 优 |
| 硝基 | | 5 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 65 ~ 82 | 3 | 3 | 5 | 好 |
| 过氯乙烯 | | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 2 | 5 | 2 | 4 | 3 | 60 | 4 | 4 | 4 | 较好 |
| 丙烯酸 | | 5 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 2 | 4 | 5 | 180 | 5 | 5 | 5 | 优 |
| 环氧 | | 5 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 4 | 150 ~ 200 | 2 | 2 | 2 | 较好 |
| 聚氨酯 | | 5 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 150 | 4 | 5 | 4 | 优 |
| 聚酯 | | 5 | 3 | 1 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 2 | 93 | 4 | 3 | 5 | 优 |
| 有机硅 | | 5 | 3 | 4 | 2 | 5 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 200 ~ 500 | 4 | 5 | 5 | 好 |
| 粉末涂料 | 环氧 | 5 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 138 ~ 173 | 3 | 2 | 2 | 一般 |
| | 聚酯 热塑性 | 3 | 1 | 1 | 5 | 3 | — | 2 | 4 | 5 | 3 | 93 | 4 | 3 | 5 | 好 |
| | 聚酯 热固性 | 5 | 3 | 1 | 5 | — | — | 5 | — | 5 | 5 | 232 | 4 | 4 | 5 | 好 |
| | 丙烯酸 | 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 121 ~ 173 | 5 | 5 | 5 | 优 |
| | 尼龙-12 | 4 | 1 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 82 | 3 | 3 | 4 | 一般 |
| | 聚乙烯 | 3 | 3 | 4 | 1 | 5 | 4 | 5 | 2 | 2 | 3 | 54 | 3 | 3 | 4 | 较好 |
| | 聚四氟乙烯 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 5 | 260 | 3 | 4 | 3 | 较好 |

注：5—优；4—好；3—较好；2——般；1—差。

（3）根据涂料产品的材质来选择　不同的材料由于腐蚀机理和本身的抗腐蚀性能的差异，设计的涂层体系也是不一样的，而且由于各种材质的表面物理性质和化学性质的差别，对涂料的适应性就不一样，施工要求也不同。不能把钢铁表面的涂层体系照抄硬搬到铸铁或轻金属甚至是塑料表面上去；对木材来说，由于多孔性，涂料易渗透而被吸收和失光，必须预涂封闭剂；对某些塑料表面，易被涂料中溶剂溶胀，甚至溶解侵蚀，也会造成涂膜失光。但绝大多数塑料存在的问题是附着力太差，必须选用专用塑料底漆或采取其他工艺措施。

各类涂料与不同材质的适应性见表 2-40。

（4）选择的涂料应满足施工条件的要求　应根据现有装备情况选用适宜涂料。通常，在设施简陋的情况下，一般选用自干涂料和快干涂料；在生产量大幅度提高时，可

配合设备改造选用高品质的烘漆等。各种涂料适宜的涂漆方法及干燥条件见表2-41。

**表2-40 各类涂料与不同材质的适应性**

| 涂层性能<br>涂 料 | 钢铁 | 轻金属 | 塑料 | 木材 | 皮革 | 玻璃 | 织物 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 油脂漆 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| 醇酸树脂漆 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 氨基树脂漆 | 5 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 |
| 硝基漆 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 酚醛树脂漆 | 5 | 5 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 |
| 环氧树脂漆 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | — |
| 氯化橡胶漆 | 5 | 3 | 3 | 5 | 4 | 1 | 4 |
| 丙烯酸酯漆 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 1 | 4 |
| 氯醋共聚树脂漆 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| 偏氯乙烯漆 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | — | 5 |
| 有机硅漆 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| 呋喃树脂漆 | 5 | 3 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| 聚氨酯漆 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 醋丁纤维素漆 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 乙基纤维素漆 | 4 | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 |

注：5—最好；4—好；3—较好；2—一般；1—最差。

**表2-41 各类涂料适宜的涂装方法及干燥条件**

| 涂 料 | 涂 漆 方 法 | 干 燥 条 件 |
|---|---|---|
| 油性漆 | 刷涂 | 自干,24h |
| 酚醛漆 | 刷涂;浸涂,喷涂,高压无气喷涂 | 自干,18h |
| 沥青漆 | 淋涂;刷涂,喷涂,热喷涂 | 自干,及低温烘干(100℃,≤1h) |
| 醇酸漆 | 喷涂,高压无气喷涂,刷涂,浸涂 | 自干,(18~24h)及低温烘干(≤100℃,≤2h) |
| 氨基漆 | 喷涂、淋涂,浸涂 | 烘干90~150℃,1~2h |
| 硝基漆 | 喷涂,热喷涂,高压无气喷涂;浸涂,静电喷涂 | 自干,1h |
| 过氯乙烯漆 | 喷涂,热喷涂,高压无气喷涂;浸涂,静电喷涂 | 自干,3h |
| 丙烯酸漆 | 喷涂,热喷涂,高压无气喷涂,淋涂,辊涂 | 自干,1h及烘干(140℃) |
| 胺固化环氧漆 | 喷涂;刷涂 | 自干,12h |
| 环氧酯漆 | 喷涂;刷涂 | 自干(24h)及烘干 |
| 环氧酚醛漆 | 喷涂;刷涂,浸涂 | 烘干,180℃,1h |
| 聚氨酯漆 | 喷涂;刷涂,浸涂 | 自干(24h) |
| 有机硅漆 | 喷涂,刷涂;浸涂 | 自干及烘干 |
| 电泳漆 | 电泳涂漆 | 烘干,160~180℃,1h |
| 粉末涂料 | 静电喷涂,流化床涂覆 | 烘烤 |

（5）根据经济性来选择涂料　经济性主要从涂料成本、施工费用和涂层使用寿命等几方面综合考虑。总的原则是不要功能过剩，单涂层能满足要求的，就不采用复涂层，以降低费用；使用期限长的，应选用高性能涂料，减少维护费用。优先选用省资源、省能源和低污染涂料，这从绿色经济学角度来看，也包含着一笔巨大财富，同时能够得到直接的经济效益。

（6）复合涂层各涂料应配套使用　由于单一涂层往往不能同时满足各项性能要求，故产品的防护和装饰一般都按复合涂层体系来进行设计。为了保证层间结合力和防止复合涂层出现缺陷，各层涂料必须配套使用，具体要求如下：

1）同漆基的涂料配套性良好，而不同漆基的涂料，配套性往往不好，一般需改性来提高两者之间的结合力。

2）涂膜硬度和强度相一致的涂料，配套性较好。如果下层涂膜硬度太软，易发生起皱、脱落。

3）强溶剂性面漆对耐溶剂性差的底层易产生“咬底”；若增加这类底层的颜料和填料分，则可能避免咬底现象。

4）各层涂膜的涂料干燥方式也应相一致，避免某一层涂膜交联过度导致性能劣化。由于底漆侧重于防护作用，面漆侧重于装饰作用，故这两种涂料采用不同的基料配制。它们之间的配套性见表 2-42。

**表 2-42　底漆和面漆之间的配套性**

| 底漆＼面漆 | 油基漆 | 酚醛漆 | 沥青漆 | 醇酸漆 | 氨基漆 | 硝基漆 | 过氯乙烯漆 | 丙烯酸漆 | 环氧漆 | 聚氨酯漆 | 有机硅漆 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 油基漆 | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | | | | |
| 酚醛漆 | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | |
| 沥青漆 | | | ✓ | | | | | | | | |
| 醇酸漆 | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | |
| 氨基漆 | | | | | ✓ | | | | | | |
| 硝基漆 | | | | | | ✓ | | | | ✓ | |
| 过氯乙烯漆 | | | | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| 丙烯酸漆 | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | |
| 环氧漆 | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 聚氨酯漆 | | | | | | | | | | ✓ | |

注：✓表示配套性好。

### 2.5.4　涂料配套性设计的含义及主要内容是什么？

所谓涂料的配套性就是涂装底材和涂料及各层涂料品种之间的适应性。涂料的配套设计就是按照施工要求，选择最合适的涂装材料和涂装系统，保证实施最佳涂料配套的系统工程。涂料配套性设计的主要内容有：

1）涂料和底材（被涂工件）之间的配套。基材不同的被涂工件，必须选择不同的

涂料品种（应特别注意铝材等基体涂料的选择）。

2）各涂层之间涂料品种的配套。也就是底漆、腻子、中间层、面漆之间的配套性。

3）涂料与施工方法之间的配套。例如：水性电泳涂料只能采用电泳涂装，粉末涂料只能采用流化床或静电粉末涂装等方法。此外，在决定涂装方法的时候，还必须考虑涂膜的干燥固化成膜的方式。

4）涂料与辅助材料之间的配套。涂料的辅助材料虽然不是成膜物质，但对于涂料施工、固化成膜过程和涂层性能都有很大影响，是组成涂料的主要组成部分。良好的配套性可改善涂料的施工性能和涂膜的使用性能，防止涂膜弊病的产生，提高涂装质量。每类涂料品种均有特定的稀释剂、分散剂、催干剂等，配套设计时要考虑辅助材料的品种和用量。

### 2.5.5 各涂层之间涂料配套设计的原则是什么?

各涂层之间涂料的配套主要指底漆与面漆的配套：首先，层间附着力及底漆和面漆应有很好的结合力；其次，面漆不能咬起底漆，这与漆料中所含溶剂的强弱有关。

溶剂由强至弱的排序为：酮醚→酮→酯→醇→芳香烃→脂肪烃。因此，涂料也可按其所含溶剂的强弱进行排序，如图2-4所示。

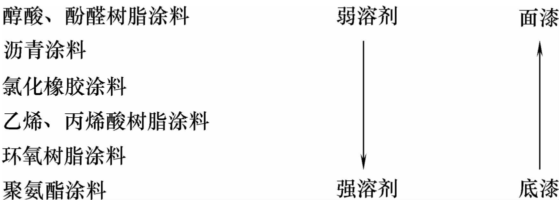



图2-4 溶剂的强弱排序

各涂层之间涂料在涂料配套设计时，应注意以下原则：

1）具有同类溶剂的涂料可以互相配套。

2）按干燥方式配套。双组分固化型涂料和氧化型涂料作底漆时，氧化型涂料和挥发型涂料作面漆。

3）按所用溶剂的强弱从里到外由强到弱排列配套。由强溶剂组成的涂料可以适应由弱溶剂组成的涂料在其表面涂装。但是底漆、面漆所用溶剂的强弱反差不能太大，以免产生底漆、面漆之间结合不牢或层间脱离现象，影响涂装质量。

4）避免产生咬底现象。对于下硬上软的涂层，底漆用强溶剂的涂料，如环氧、聚氨酯类高性能涂料；面漆用弱溶剂涂料，如氯化橡胶、沥青、醇酸、酚醛等低性能涂料。

在对涂料进行配套设计时，可参照表2-43进行操作。

表2-43 涂料的配套设计

| 底漆＼面漆 | 油改性漆 | 酚醛树脂漆 | 氯化橡胶涂料 | 乙烯树脂涂料 | 丙烯酸树脂漆 | 烯丙基醚漆 | 沥青漆 | 环氧沥青漆 | 环氧树脂漆 | 漆酚漆 | 有机硅树脂漆 | 无机涂料 | 合成树脂乳液 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 油改性漆 | ☆ | ○ | △ | △ | △ | ○ | × | × | × | × | × | × | △ |
| 酚醛树脂漆 | ○ | ☆ | △ | △ | △ | ○ | △ | × | × | × | × | × | × |
| 氯化橡胶涂料 | ○ | ○ | ☆ | ☆ | ☆ | ○ | △ | △ | △ | × | × | × | × |
| 乙烯树脂涂料 | ○ | ○ | ○ | ☆ | ☆ | ○ | △ | △ | △ | × | × | × | × |

（续）

| 面漆<br>底漆 | 油改性漆 | 酚醛树脂漆 | 氯化橡胶涂料 | 乙烯树脂涂料 | 丙烯酸树脂漆 | 烯丙基醚漆 | 沥青漆 | 环氧沥青漆 | 环氧树脂漆 | 漆酚漆 | 有机硅树脂漆 | 无机涂料 | 合成树脂乳液 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 丙烯酸树脂漆 | ○ | ○ | ○ | ☆ | ☆ | ○ | △ | △ | △ | × | × | × | × |
| 烯丙基醚漆 | ○ | △ | △ | △ | △ | ☆ | × | × | × | × | × | × | △ |
| 沥青漆 | × | △ | △ | △ | △ | × | ☆ | △ | △ | △ | × | × | × |
| 环氧沥青漆 | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | ☆ | ☆ | △ | △ | × | △ |
| 环氧树脂漆 | △ | ○ | ☆ | ☆ | ☆ | ○ | ○ | ☆ | ☆ | ○ | ○ | × | ○ |
| 漆酚漆 | × | × | △ | △ | △ | × | × | △ | ○ | ☆ | △ | × | △ |
| 有机硅树脂漆 | △ | △ | × | × | × | × | × | △ | ○ | △ | ☆ | × | ☆ |
| 无机涂料 | × | × | ○ | ○ | ○ | △ | × | ☆ | ☆ | ○ | ○ | ☆ | △ |
| 合成树脂乳液 | △ | △ | × | × | × | △ | △ | △ | △ | × | × | × | ☆ |

注：☆——优良；○——良好；△——可以；×——不可以。

### 2.5.6　涂料配套设计时有何方法可以增加层间附着力？

在涂装工艺上还可采取下列措施增加底漆和面漆之间的层间附着力，具体有：

1）湿碰湿。如在环氧涂层上涂漆时，应在其涂装后还未完全干燥的 1～2 天内进行。

2）增加中间层。氯化橡胶涂料是一种优良的中间层涂料。

3）保持一定的表面粗糙度，如沥青表面和环氧涂料涂装 7 天以后，必须先经过打毛处理才能进行涂装。

### 2.5.7　涂料与施工条件的适应性是什么？

涂料与施工条件的适应性见表 2-44。

**表 2-44　涂料与施工条件的适应性**

| 涂　　料 | 涂 装 方 法 | 干 燥 条 件 |
|---|---|---|
| 油性涂料 | 刷涂 | 自干，24h |
| 酚醛涂料 | 刷涂、浸涂、喷涂、高压无气喷涂 | 自干，18h |
| 沥青涂料 | 刷涂、淋涂、喷涂、热喷涂 | 自干及低温烘干（100℃，≤1h） |
| 醇酸涂料 | 喷涂、高压无气喷涂、刷涂、浸涂 | 自干及低温烘干（100℃，≤2h） |
| 氨基涂料 | 喷涂、淋涂、浸涂 | 烘干（90～150℃，1～2h） |
| 硝基涂料 | 喷涂、热喷涂、高压无气喷涂、浸涂、静电喷涂 | 自干 1h |
| 过氯乙烯涂料 | 喷涂、热喷涂、高压无气喷涂、浸涂、静电喷涂 | 自干 3h |
| 丙烯酸涂料 | 喷涂、热喷涂、高压无气喷涂、淋涂、辊涂 | 自干及烘干（140℃，1～2h） |
| 胺固化环氧涂料 | 喷涂、刷涂 | 自干 12h |
| 环氧酯涂料 | 喷涂、刷涂 | 自干 24h 及烘干 |

（续）

| 涂　　料 | 涂 装 方 法 | 干 燥 条 件 |
|---|---|---|
| 环氧酚醛涂料 | 喷涂、刷涂、浸涂 | 烘干（180℃，1h） |
| 聚氨酯涂料 | 喷涂、刷涂、浸涂 | 自干24h |
| 有机硅涂料 | 喷涂、刷涂、浸涂 | 自干24h及烘干 |
| 电泳涂料 | 电泳涂装 | 烘干（160～180℃，1h） |
| 粉末涂料 | 静电喷涂、流化床涂装 | 烘干（160～180℃，0.5～1h） |

### 2.5.8　如何估算涂料的用量？

1. 计算法

根据各层涂膜的厚度、密度和涂料利用率等参数，可按下式求得各层涂膜的涂料单位面积消耗量：

$$q_c = \frac{\delta\rho_F}{eS_0}$$

式中　$q_c$——各层涂膜单位面积原漆消耗量（$g/m^2$）；

$\delta$——涂膜厚度（μm）；

$\rho_F$——涂膜密度（$g/cm^3$）；

$S_0$——原漆固体含量（%）；

$e$——各种涂装方法的涂料利用率（%）。

对于涂料是清漆的情况，涂膜的密度应参考表2-45所示的密度取近似值。

**表2-45　常用涂料的基料的密度**

| 树　　脂 | 密度/（$g/cm^3$） | 树　　脂 | 密度/（$g/cm^3$） |
|---|---|---|---|
| 油脂 | 0.95 | 醇酸树脂 | 1.0 |
| 氨基树脂 | 1.25 | 环氧树脂 | 1.2 |
| 酚醛树脂 | 1.2 | 聚氨酯 | 1.2 |
| 硝基纤维素 | 1.7 | 氯化橡胶 | 1.7 |
| 乙烯基树脂 | 1.2 | 丙烯酸树脂 | 1.2 |
| 沥青 | 1.0 | 有机硅树脂 | 1.1 |
| 无机硅酸盐 | 2.7 | — | — |

2. 统计法

根据原生产工艺的年度消耗量或生产线的月度或年度材料消耗记录资料，除以月度或年度生产任务，得到单位消耗量。再乘以待设计的年生产纲领，就可以得到原材料的年需求量。如果和原生产工艺比较，新设计的工艺比较先进，原材料利用率往往比较高，年需求量应乘以系数$k$

$$k = e_0/e$$

式中　$e_0$——原生产工艺材料利用率（%）；

$e$——新工艺的材料利用率（%）。

如果用已建成的类似工艺的生产线的数据计算，得到结果相对比较客观、准确。

3. 实测法

例如，对于一定面积的工件，经涂装处理以后，求得单位消耗量。常常由于涂覆面积有限，再加上零部件的尺寸、形状对涂料利用率影响很大，使得实测的结果和前面方法得到结果有一定偏离，仅作为参考。

### 2.5.9　涂料兑稀的步骤是什么？

在涂料实际使用时，需要将涂料调至施工所需要的粘度，其兑稀的方法应当按照以下步骤进行：

1）核对涂料的品种、生产日期。并且需要对沉降性大的涂料提前倒置一段时间，并适当晃动，以便于均匀分散。

2）开桶检查并搅拌均匀。检查主要是目测有无浑浊、变稠、胶化和沉淀现象。

3）在搅拌下，少量多次逐渐加入稀料，直到施工粘度。在稀释过程中，应注意防止局部过稀现象的发生。另外，水性漆在稀释过程中粘度变化还存在着反常行为，也要注意防止。

4）添加辅助材料，主要是流平剂、防潮剂、催干剂等。

5）底漆应采用 120#筛进行过滤；面漆应采用 180#筛过滤，或者先经 120#筛过滤再经 180#过滤。

6）按涂漆的先后顺序，分别调稀底漆和面漆。双组分涂料混合后应在适用期内用完；对于硝基漆等快干涂料，要随调随用，保证涂膜厚度和色泽的一致性；施工时间长或沉降性大的涂料（如闪光漆、珠光漆等），施工期间应给予搅拌，确保涂膜色泽均匀一致。用漆量较大时，应采用带有恒温和搅拌循环的输漆罐，使涂膜光泽、色泽和厚度始终都能保持一致。更大批量的作业应采用供漆系统。

## 2.6　涂料的干燥

### 2.6.1　涂料和涂膜的干燥方式有哪些？

涂膜的主要干燥方法及特点见表 2-46。涂膜干燥方式应根据涂料的干燥规范、零件质量、壁厚及形状和生产批量来合理选择。各类涂料的干燥方式见表 2-47。

**表 2-46　涂膜的主要干燥方法及特点**

| 干燥方法 | 特　点 | 选择要点 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 涂　料 | 生产批量 | 零件形状 | 零件壁厚 |
| 自然干燥 | 场地通风要好，灰尘应少；受大气环境影响大 | 快干型涂料 | 单件、小批量 | 任意 | 任意 |
| 热空气对流 | 低温烘干可用蒸汽；中温至高温烘干可用燃料和电加热；热利用率低，能耗大，干燥性好 | 烘漆和能强制干燥的自干型涂料 | 单件和成批 | 任意 | >30mm |

（续）

| 干燥方法 | 特　　点 | 选择要点 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 涂　　料 | 生产批量 | 零件形状 | 零件壁厚 |
| 红外线辐射 | 干燥速率快，热利用率高，间歇式或通过式干燥，红外灯泡板的温度小于120℃，可用于补涂时的干燥；复杂形状工件的各部位干燥程度不一致 | 烘漆和能强制干燥的自干型涂料 | 批量和大量 | 简单和中等复杂程度 | 20～30mm以下 |
| 辐射、对流混合形式 | 兼有两者的特点，复杂形状辐射不到的部位也能良好地干燥 | 烘漆和能强制干燥的自干型涂料 | 批量和大量 | 任意 | 20～30mm以下 |
| 紫外线辐照 | 平板的流水线生产，干燥快（<2min），仅适合于清漆，含对紫外线透射小颜料的色漆不适合 | 光固化涂料（如不饱和聚酯） | 大批量 | 平面 | 各类材质（如塑料木材等） |
| 电子束辐照 | 效率高（<1min），设备投资大 | 聚酯、丙烯酸、氟化聚氯乙烯及某些聚氨酯等 | 大批量 | 平面 | 各类材质 |

**表2-47　各类涂料的干燥方式**

| 涂料类型 | | 涂料品种 | 常温干燥 | 低温烘干（<100℃） | 中温烘干（<150℃） | 高温烘干（≥180℃） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 挥发性涂料 | | 硝基纤维素涂料<br>过氯乙烯涂料<br>丙烯酸涂料<br>磷化底漆<br>乳胶涂料 | ✓<br>✓<br>✓<br>✓<br>✓ | ✓<br>（40～60℃） | | |
| 气干型涂料 | 氧化聚合型 | 油性涂料<br>酚醛涂料<br>醇酸涂料<br>环氧酯涂料 | ✓<br>✓<br>✓<br>✓ | <br><br>✓<br>✓ | | |
| | 潮气固化型 | 聚氨酯<br>环氧涂料 | ✓<br>✓ | | | |
| 烘烤固化型 | | 氨基烘漆<br>丙烯酸烘漆 | | | ✓<br>✓ | |
| | | 环氧酚醛涂料<br>环氧氨基涂料<br>沥青烘漆<br>有机硅涂料 | | | | ✓<br>✓<br>✓<br>✓ |
| 固化剂固化型双组分涂料 | | 环氧涂料<br>聚氨酯<br>环氧沥青涂料 | ✓<br>✓<br>✓ | ✓<br>✓<br>✓ | | |

### 2.6.2　油脂涂料的干燥机制是什么?

油脂涂料的干燥是靠脂肪酸碳链上不饱和双键自动氧化聚合，使之成为体型结构而固化成膜。不饱和脂肪酸在结构中双键的个数和位置的不同，性质也就不同。双键越多，不饱和度越大，植物油脂就越容易干燥。例如桐油酸有三个双键又共轭，所以化学结构性质活泼，很容易干燥。油脂涂料干燥过程的化学反应是复杂的，一般认为在最初诱导期之后，氧被吸收在邻近双键碳原子上，形成过氧化物，经过一系列反应交联成网状结构，形成高分子涂层。

### 2.6.3　各类涂料的表干和实干时间分别是多长?

当需要进行多道涂装工序时，一般在前一道涂层实际干燥后进行下一道涂装。常用涂料的干燥时间大致见表 2-48。每道涂料在进行涂装时，需有一定的涂装干燥时间，这不仅与涂料品种、具体涂料的特性有关，还与施工时的温度、湿度等气候条件有关。涂料干燥时间在冬季也会延缓甚至不能完全干燥，在夏季干燥时间缩短。

**表 2-48　常用涂料的干燥时间**

| 涂料类型 | 干燥时间(23℃ ±2℃) | | 涂料类型 | 干燥时间(23℃ ±2℃) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 表干/h | 实干/h | | 表干/h | 实干/h |
| 沥青类涂料 | 2 | 24 | 酚醛涂料 | 5 | 24 |
| 氯化橡胶涂料 | 0.5 | 2 | 聚氨酯涂料 | 2 | 6 |
| 环氧沥青涂料 | 8 | 24 | 丙烯酸涂料 | 0.5 | 4 |
| 醇酸涂料 | 4 | 24 | 硝基涂料 | 0.5 | 4 |
| 环氧涂料 | 4 | 24 | 过氯乙烯涂料 | 0.5 | 4 |
| 乙烯类涂料 | 1 | 4 | 无机涂料 | 4 | 24 |

### 2.6.4　涂装的最佳时间间隔是多长?

同干燥时间一样，涂装间隔时间不仅与涂料品种、具体涂料的特性有关，还与施工时的温度、湿度等气候条件有关，涂装间隔在冬季可适当延长，夏季适当缩短。各类涂料涂装的最佳涂装间隔见表 2-49。

**表 2-49　常用涂料涂装的最佳涂装间隔**

| 涂料类型 | 最佳涂装间隔(23℃ ±2℃) | | 涂料类型 | 最佳涂装间隔(23℃ ±2℃) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 最短/h | 最长/d | | 最短/h | 最长/d |
| 沥青类涂料 | 14~24 | 5 | 酚醛涂料 | 9 | 3 |
| 氯化橡胶涂料 | 9 | 7 | 聚氨酯涂料 | 14 | 5 |
| 环氧沥青涂料 | 20 | 5 | 丙烯酸涂料 | 6 | 5 |
| 醇酸涂料 | 14 | 7 | 硝基涂料 | 4 | 2 |
| 环氧涂料 | 9 | 5 | 过氯乙烯涂料 | 6 | 1 |
| 乙烯类涂料 | 6 | 3 | 无机涂料 | 2 | 2 |

最佳涂装间隔的掌握应注意以下几点：

1）表 2-49 中的最佳涂装间隔是指达到涂膜最佳性能时，工件最为适合的涂漆间隔时间。

2）有些涂料在涂层表面用砂纸等打磨后，可适当延长最佳涂装间隔。这些情况要

根据施工现场的具体情况，酌情考虑。但为了达到最优质的涂装效果，应尽可能在最佳涂装间隔内施工。

3）对有些依靠溶剂挥发的氯化橡胶、高氯乙烯、丙烯酸类单组分涂料，在实际使用时，可无最佳涂装间隔的限制，只规定最短涂装间隔。

4）在涂膜实干后，需注意涂膜保养，被涂装物件必须在涂膜完全干燥后（一般在7～14天），方可投入使用。

## 2.7　涂料配色

### 2.7.1　减色法混合后的结果是什么？

1）黄色=白色－蓝色。

2）紫色=白色－绿色。

3）青色=白色－红色。

4）黄色+紫色=白色－蓝色－绿色=红色。

5）黄色+青色=白色－蓝色－红色=绿色。

6）紫色+青色=白色－绿色－红色=蓝色。

7）黄色+紫色+青色=白色－蓝色－绿色－红色=黑色。

### 2.7.2　什么是涂料配色图？

调制涂料的颜色时，应首先了解颜色的范围，由几种颜色组成，哪种是主色，哪种是副色，色与色之间关系如何，各占多少比例，然后制订调色配方。涂料配色图如图2-5所示。

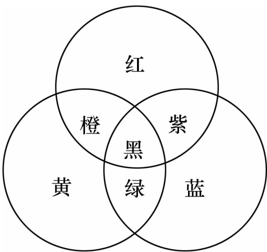



图2-5　涂料配色图

### 2.7.3　深色彩油漆的配比是多少？

深色彩油漆的配比见表2-50。

表2-50　深色彩油漆的配比　（质量分数，%）

| 主色漆 | 深棕色 | 深驼色 | 深紫色 | 深灰色 | 深蓝色 | 深豆青 | 深湖绿 | 深翠青 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 红漆 | 60 | 33 | 90 | | | | | |
| 黄漆 | 10 | 32 | | | | 37.5 | 25 | 10 |
| 蓝漆 | | | 8 | 25 | 87 | 7.5 | 10 | 30 |
| 白漆 | | 20 | | 70 | 8 | 55 | 65 | 60 |
| 黑漆 | 30 | 15 | 2 | 5 | 5 | | | |

### 2.7.4 中色彩油漆的配比是多少?

中色彩油漆的配比见表 2-51。

**表 2-51 中色彩油漆的配比** （质量分数，%）

| 主色漆 | 铁红 | 枣红 | 草绿 | 橄榄绿 | 沙黄 | 天蓝 | 蓝灰 | 中灰 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 红漆 | 72 | 70 | 27 | 9 | 0.5 | | | |
| 黄漆 | 16 | 25 | 23 | 60 | 8 | | | |
| 蓝漆 | | | 42 | 10 | | 6 | 12 | 1.5 |
| 白漆 | | | 5 | 13 | 90 | 94 | 75 | 90 |
| 黑漆 | 12 | 5 | 3 | 8 | 1.5 | | 13 | 85 |

### 2.7.5 浅色彩油漆的配比是多少?

浅色彩油漆的配比见表 2-52。

**表 2-52 浅色彩油漆的配比** （质量分数，%）

| 主色漆 | 浅紫红 | 浅橘红 | 浅橘黄 | 浅咖啡 | 浅奶油 | 浅军黄 | 浅豆绿 | 浅海蓝 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 红漆 | 97.2 | 6.7 | 3.2 | 6.3 | 0.5 | 41 | | |
| 黄漆 | | 93.3 | 96.8 | 18 | 3.5 | 43 | 17 | 3 |
| 蓝漆 | 2.8 | | | | | | 8 | 10 |
| 白漆 | | | | 75 | 96 | | 75 | 87 |
| 黑漆 | | | | 0.7 | | 17 | | |

### 2.7.6 淡色彩油漆的配比是多少?

淡色彩油漆的配比见表 2-53。

**表 2-53 淡色彩油漆的配比** （质量分数，%）

| 主色漆 | 淡象牙色 | 淡粉红色 | 淡天蓝色 | 淡果绿色 | 淡棕色 | 淡乳白色 | 淡青色 | 淡银灰色 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 红漆 | | 1.5 | | | 1.5 | | | |
| 黄漆 | 1.5 | | | 25 | 2.5 | 0.4 | 1.5 | 1.2 |
| 蓝漆 | | | 2.5 | 2.5 | | | 1.5 | 0.8 |
| 白漆 | 98.5 | 98.5 | 97.5 | 95 | 95.5 | 99.5 | 95.5 | 96 |
| 黑漆 | | | | | 0.5 | 0.1 | 1.5 | 2.0 |

# 第3章　涂装前表面预处理

## 3.1　表面预处理基础知识

### 3.1.1　表面预处理包括哪些内容？

涂装前表面预处理主要包括以下三个方面内容。

1）从被涂物表面清除各种污物，以保证涂层具有优良的防腐蚀性能，确保涂层与被涂物表面具有良好的附着力。被涂工件表面污物可分为无机污物和有机污物两大类。前者包括氧化皮、锈蚀产物、焊渣、灰尘、各种盐分、水等，后者主要是旧的有机涂层和各种油污。污物的处理方法主要是脱脂、除尘、除锈、清除旧涂膜等。

2）对经清洗处理过的工件表面进行各种化学处理，以提高涂膜的附着力和耐腐蚀性。如对钢铁制件在涂装前进行磷化处理，对铝制品在涂装前进行氧化处理，对需要涂装的塑料、橡胶等制件进行涂装前化学、火焰、等离子等各种处理等。

3）采用机械方法消除被涂物的机械加工缺陷和创造涂漆所需的表面粗糙度。如用锤平的方法平整钢板表面凸凹不平的缺陷，锉掉毛刺等；对木材表面进行打磨、抛光处理等。

### 3.1.2　为什么要进行表面预处理？

1. 保证和提高涂层的防护性能

由于钢铁涂层表面有微孔存在，所以海水仍可缓慢穿过涂膜产生电化学腐蚀。此时，含涂膜部分成为阴极，不含涂膜部分成为阳极而发生电化学腐蚀，生成 FeO 和 $H_2$，并进一步变成 $Fe_3O_4$ 和 $Fe_2O_3$。$Fe_3O_4$ 和 $Fe_2O_3$ 的体积比 Fe 大得多，所以导致涂膜鼓起、涂膜被破坏。正常情况下，在涂膜未损坏或失效时，这一过程十分缓慢。

当涂层下存在未除尽的氧化皮、锈蚀物时，由于氧化皮和锈蚀物的电极电位比钢铁约高 0.15～0.26V，成为阴极，而钢铁本身为阳极发生腐蚀。根据未除尽锈蚀含量的多少，腐蚀速度不同程度地加快。

2. 增强涂层对物体表面的附着力

当物体表面存在油、水时，由于油、水与涂料相容性差，难以形成连续涂层，即使形成连续涂层，其涂层附着力也大大降低，使涂层过早脱落。当物体表面有灰尘时，轻者使涂层产生麻点，重者更会形成腐蚀中心，缩短涂层寿命；当物体表面存在氧化皮、锈蚀和失效旧涂膜时，会造成涂层与物体表面附着不良。因此，表面预处理的第二个作用是增强涂层对物体表面的附着力，同时为建立一个光滑、平整、美观的涂层做好必要的准备，为涂膜创造良好的基底。

3. 创造合适的表面粗糙度

涂层附着在物体表面主要是依靠涂料中的极性分子与底材表面分子间的相互吸引

力。钢铁在喷砂处理后，会使表面变粗糙，随着表面粗糙度值增大，表面积也显著增加，单位面积上涂层与钢铁表面的引力也成倍增大，同时还为涂层附着提供了合适的表面形状，增加了机械齿合作用，对涂层附着十分有利。但表面过于粗糙，也会带来不利影响。与光滑表面相比，使用相同的涂料量，其涂层厚度要小得多，尤其是在波峰处，涂层厚度往往不足，造成涂层过早被破坏。此外，表面粗糙度值过大还会在涂装时截留空气，造成涂层过早起泡、脱落。所以表面粗糙度直接影响涂层与底材的附着力和涂层厚度分布。

4. 增强涂层与底材的配套性和相容性

表面预处理除了除锈等清洁工作外，还可包括金属表面的化学转化，主要是氧化、磷化、钝化等，经化学转化后的表面能够形成类似喷砂后具有一定表面粗糙度的结构，扩大涂层与底材表面的接触面积和附着力，提供一个与涂层和底材结合的新界面，增强涂层与底材相容性，这一点对于难以直接进行涂装的底材更有意义。同时，经处理后的表面增加了一层防护层，也提高了总体的防护性能。

### 3.1.3 涂装前表面脱脂的方法及其特点?

（1）溶剂脱脂法　主要采用三氯乙烯蒸气脱脂。蒸气有毒性，需在专用的封所设备中进行。一般多与磷化配合，在脱脂的同时，形成铁盐鳞化膜，形成磷化膜的耐蚀性稍优于水剂铁盐法，另外不需要冲洗水，节省水资源。

（2）水剂脱脂法　该清洗剂使用成本低，脱脂能力大，高效经济，适合于流水线使用。另外可借助超声波大大提高清洗效率。

（3）乳液脱脂法　去污力强，脱脂时间短，但脱脂后有一层疏水膜。用于重油污和工序间清洗，也可用于预清洗。

（4）电解脱脂法　设备投入大，洗后表面活性高，在涂装预处理方面不适用。

### 3.1.4 涂装前表面除锈的方法及其特点?

（1）酸洗除锈　处理费用低，效率高，但产生较多酸雾，对车间设备损害大；对材料溶解损失大；残留酸易使材料表面产生铁锈现象。生产线上的除锈和活化主要采用该方法。

（2）电解除锈　可得到平整、光精的表面，适合在对材料有精度要求时采用。

（3）碱液除锈　成本高，效率低，一般很少采用。

（4）手工除锈　采用钢丝剥、砂布、电动磨具手工作业，用于清理少量、局部的表面锈蚀产物，但除锈不彻底。

（5）机械除锈　采用喷砂、抛丸进行，适合于大批量作业、铸件型砂和重锈的清理，除锈较彻底。

### 3.1.5 涂装前表面化学覆膜的方法及其特点?

（1）磷化处理　主要用于钢铁、镀锌板的涂装前化学覆膜处理，形成的磷酸盐转化膜有阴极缓蚀作用，可提高涂层附着力和防护性。

（2）氧化处理　分化学氧化和阳极氧化。阳极氧化主要用于铝合金表面形成氧化膜；铬酸化学氧化可用于锌合金和铝合金表面形成氧化膜。要提高铝合金表面涂层的附着力，主要还是采用化学氧化处理。

### 3.1.6　涂装前塑料表面处理的方法及其特点？

（1）物理方法　主要是溶剂腐蚀，使材料多孔粗化，处理后必须立即涂装。另外还可通过强碱腐蚀或打磨使表面粗糙。

（2）化学方法　通过铬酸的氧化作用，使表面产生很多的极性基团，涂膜附着力得以提高。

（3）物理化学方法　包括火焰喷射、等离子体处理、紫外线照射、电晕处理等，使材料表面降解粗化并产生极性基团。

### 3.1.7　各种涂装表面预处理方法有何优缺点？

各种涂装表面预处理方法的优缺点见表 3-1。

**表 3-1　各种涂装表面预处理方法的优缺点**

| 预处理方式 | 定　　义 | 内　　容 | 优　　点 | 缺　　点 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 手工 | 在涂装前，使用手工工具除去基底表面异物的过程 | 手工 | 施工简便，能清理任何结构的设备，污染小 | 方法落后，工作效率低，预处理质量不好 |
| 机械 | 采用动力工具或喷丸、抛丸、喷粒等，除去基底表面异物的过程 | 动力除锈、干喷射处理、湿喷射处理、喷丸、抛丸、打磨、修整等 | 预处理效率高，质量也较好 | 只能适用于外形不复杂的物面处理，干喷砂、喷丸等污染大，有噪声 |
| 化学 | 在涂装前，使用化学方法除去基底表面异物或形成转化膜的过程 | 化学脱脂、酸洗、磷化、发蓝、钝化、铬酸盐化等 | 效率较高，对形状复杂部件适用，磷化可大大提高预处理的质量 | 设备贵，需要对水等进行后处理，某些溶剂影响健康 |
| 电化学 | 在涂装前，使用电化学方法除去基底表面异物或形成转化膜的过程 | 电化学脱脂、氧化、电镀等 | 效率较高，对形状复杂部件适用，预处理质量高 | 设备贵，需要对水等进行后处理，某些溶剂影响健康 |

### 3.1.8　怎样选择涂装前表面预处理方法？

由于涂装前表面处理剂品种多，不同表面处理剂的处理方式也各种各样，使得表面处理工艺复杂化。因此，实际生产时，表面处理方法的选择应考虑以下几个方面：

1）材质，指材料的类别和成分。

2）材料表面状态（工件的结构、形状和表面状态及污物的成分和性质等）。对同种材料，不同油污种类和锈蚀程度的表面状态，采用的处理剂要有针对性；物品的形状不一样，可采取的工艺方式也不一样。

3）涂层质量要求（依应用环境条件而定）。钢铁材料主要是提高其耐蚀性，而锌合金、铝合金、塑料主要是为了提高涂膜附着力等。

4）表面处理的技术经济性等。

5）环境保护的要求。

同时在处理时，表面预处理的质量等级应与涂层品质相一致。如果表面预处理质量太低，涂层品质达不到预期要求；如果质量等级太高，就影响到表面预处理的技术经济性。

### 3.1.9　涂装前表面预处理方法与材质的配套如何选择？

涂装前表面预处理方法与材质的配套选择见表 3-2。

**表 3-2　涂装前表面预处理方法与材质的配套选择**

| 材质 | 喷砂抛丸 | 酸洗除锈 | 水基清洗剂（喷/浸） | 表面调整（喷/浸） | 磷　化 | 封闭与氧化 | 其　他 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 铸件 | ✓ | 浸 | ✓ | Ni 盐 | 锰盐、锌盐、铁盐、浸 | | |
| 钢铁 | | 浸 | 弱碱/中碱 | 钛胶 | 各类磷化剂①，喷/浸 | $Cr^{3+}PO_4$ 系，浸 | |
| 铝合金 | | | 弱碱/中碱<br>偏硅酸钠 | 碱活化 | 含 HF、$H_2CrO_4$ 磷化剂②，浸 | 铬酸钝化，浸 | |
| 镀锌板 | | | 弱碱 | 钛胶 | 含 $F^-$ 锌盐磷化剂，喷/喷-浸 | $Cr^{6+}\cdot Cr^{3+}\cdot PO_4$ | |
| 塑料 | | | 中性/弱碱<br>中温 | 专用表面活性剂液 | | 铬酸氧化，浸 | 除脱膜剂③ |

① 铁系磷化适用于仪表、家具、农机、彩色钢板和粉末喷涂的磷化处理，常用喷淋的方式；锌钙系适合于轻工产品的磷化处理，结晶较细，成膜快；锌盐适合与各类涂层配套，但磷化膜不宜太厚（<3μm）；电泳涂装应采用低锌磷化剂和浸渍工艺方式。

② 铝合金的化学覆膜处理以铬酸氧化应用多，磷化处理工艺操作性差。

③ 塑料表面脱膜剂用水基清洗剂难除掉，可采用溶剂擦洗或水砂纸打磨。

### 3.1.10　钢铁工件表面的主要污物是什么？

钢铁工件表面主要污物的类型、组成及对涂层性能的影响见表 3-3。

**表 3-3　钢铁工件表面的主要污物类型、组成及对涂层性能的影响**

| 类　型 | | 来　源 | 主要组成 | 对涂层性能的影响 |
|---|---|---|---|---|
| 油污 | 润滑油<br>切削油<br>拉伸油<br>压延油<br>研磨油（膏） | 机加工过程、热处理过程、贮运过程 | 矿物或动植物油脂、石蜡、树脂，各种有机添加剂和无机填充材料 | 影响涂层的干燥性能，降低涂层附着力、硬度和光泽 |
| 氧化物 | 氧化皮<br>黄锈 | 加工过程和贮运过程 | 四氧化三铁、三氧化二铁和氧化铁等 | 使涂层附着力差。在氧和水作用下形成氢氧化铁，使涂层起皮、脱落 |
| 固体附着物 | 金属屑<br>焊渣焊剂<br>尘土 | 加工过程、焊接过程和贮运过程 | 金属屑、焊渣、尘土 | 涂层外观质量变差。固体附着物脱落时，使涂层破坏 |
| | 碱及碱性盐<br>中性盐<br>酸及酸性盐 | 热处理过程、焊锡过程和酸洗过程 | 各种盐类 | 使涂层附着力变差。加速涂层下的金属腐蚀。使涂层起皮、脱落 |

（续）

| 类　型 | | 来　源 | 主 要 组 成 | 对涂层性能的影响 |
|---|---|---|---|---|
| 旧涂层 | 旧漆<br>旧塑料 | 临时防锈涂料及返修件 | 天然油脂、树脂、纤维，合成树脂、纤维，各种颜料、填充材料 | 使涂层附着力和外观质量变差 |

## 3.2　除锈

### 3.2.1　为什么要进行除锈?

除锈的目的是使被涂物表面光滑、清洁，增加涂料与被涂表面的附着力，充分发挥涂料抵抗腐蚀的能力，具体表现在如下方面。

（1）除锈质量直接影响涂膜的附着力　达到优良除锈质量的被涂物表面，可获得清洁的、有一定粗糙度的被涂物表面，有利于涂膜的形成和良好附着。喷砂，喷丸和高压水磨料射流除锈工艺可使被涂工件表面获得底材与涂层形成最佳附着力的粗糙度。除锈质量不好，是引起涂层脱落和剥离的主要原因。

（2）除锈质量直接影响磷化等工艺　磷化膜是不能在氧化皮和锈层上生长的，所以彻底除锈是磷化的必要条件。在各种除锈方法中，强酸除锈（酸洗）对磷化的影响程度最大，因为酸洗时间过长，工件表面会出现过腐蚀，表面粗糙，磷化膜结晶就会过于粗大多孔；反之，强酸除锈时间过短，工件表面活化不够，同样使磷化膜结晶粗大。除锈质量的高低对于获得密集活化点和形成致密的磷化膜有着重要作用。

（3）除锈质量直接影响涂层的使用性能　除锈程度对涂膜耐久性影响的暴露试验结果如图 3-1 所示。横坐标为除锈程度，用瑞典除锈标准来表示；0 表示未经过处理，St 表示以动力工具或手工除锈，Sa 表示喷砂、喷丸或高压水磨料处理。纵坐标是涂层的耐久保护年限。研究结果表明：Sa3 喷砂处理与 St1 手工除锈相比，涂膜的耐久性相差 4 年左右。

### 3.2.2　除锈方法有哪些?

1. 化学除锈

化学除锈是利用酸对铁锈氧化物的溶解作用进行的酸洗处理。主要采用盐酸、硫酸、硝酸、磷酸及其他有机酸和氢氟酸的复合酸液。锈蚀产物中，FeO 易溶解，$Fe_3O_4$ 较难溶解，$Fe_2O_3$ 最难溶解。

2. 机械除锈

机械除锈分手工除锈和喷砂抛丸除锈两大类。

（1）手工除锈　手工除锈是利用尖头锤、刮刀、铲刀、钢丝刷、砂布等简单工具来进行作业，工人的劳动强度大，效率低，且除锈不彻底。手工除锈仅适合于小量作业和局部表面除锈。也可以借助电动打磨工具来减轻劳动强度，提高工作效率。

（2）喷砂抛丸除锈　喷砂（丸）除锈是利用压缩空气将砂（丸）推（吸）进喷枪，从喷嘴喷出，撞击工件表面使锈层脱落，工作效率高，除锈彻底，除锈等级可选

Sa2.5 ~ Sa3 级，并可减轻工作强度。喷砂以后工件表面比较粗糙，有利于提高涂膜附着力。抛丸除锈是靠叶轮在高速转动时的离心力，将铁丸沿叶片以一定的扇形高速抛出，撞击锈层使其脱落。在除锈的同时，还使得钢件表面被强化，提高耐疲劳性能和抗应力腐蚀性能。

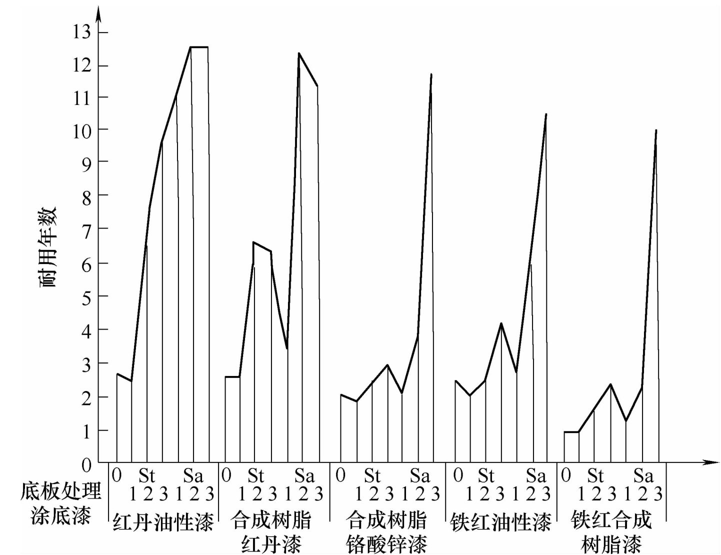



图 3-1　除锈程度对涂膜耐久性的影响

### 3.2.3　各种除锈方法分别有什么特性?

除锈目的是去除钢铁表面的所有氧化皮和锈蚀物，为进一步涂装提供良好基底，确保涂层质量，延长钢铁使用寿命。通常在除锈的同时也可除去旧涂层和污物，所以除锈中，也包括同时除漆、除污物。常用的除锈方法有手工、小型机械（风动、电动）、喷（抛）丸（砂）、高压水（磨料）、酸洗及电化学和火焰等除锈方法。它们的特性比较见表 3-4。

**表 3-4　各种除锈方法特性比较**

| 除锈方式 | 优　　点 | 缺　　点 | 注 意 事 项 | 处理质量 | 表面粗糙度值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 喷丸 | 除锈彻底;处理效率高;磨料可回收 | 对环境有污染;一般需在室内进行;辅助工作量大;投资较大 | 操作时,应遮蔽其他相邻物体 | 优 | 大 |
| 喷砂 | 除锈彻底;处理效率高;可以处理各种形状的表面;磨料价廉 | 对环境污染极大;磨料不可回收;不能同时进行其他作业 | 操作时,必须遮蔽其他相邻物体;采取必要措施减少粉尘污染危害 | 优 | 大 |

（续）

| 除锈方式 | 优　　点 | 缺　　点 | 注 意 事 项 | 处理质量 | 表面粗糙度值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 高压水磨料 | 除锈彻底；处理效率高；可以处理各种形状的表面；对环境污染很小；可同时除去表面可溶性盐分等；可在高湿条件下施工 | 处理后表面易返锈；通常需添加缓蚀剂，增加成本 | 可采用与缓蚀剂相适应的底漆；直接使用高压水处理配套底漆；现场安排好排水设施，防止下水道堵塞 | 优 | 大 |
| 真空喷丸 | 除锈彻底；不污染环境 | 不能处理形状复杂的物件；除锈效率低 | 与其他小型工具配合使用 | 优 | 大 |
| 小型机械 | 除锈彻底；机动性好；污染较小 | 除锈效率低，尤其是去除氧化皮能力差；劳动强度较大；表面粗糙度值小 | 根据不同对象选择相应的工具；用于对旧漆面进行打毛处理 | 一般 | 较小 |
| 纯手工 | 工具简便；机动性好 | 除锈效率低下；表面粗糙度值小；劳动强度大 | 主要用于小面积除锈和其他工具难以达到的边角除锈 | 差 | 小 |
| 酸洗 | 除锈彻底；适用于各种零部件；价格较低 | 酸雾和废水排放造成环境污染；不能用于现场大型物件处理；易返锈，尤其是酸残留时 | 重视酸洗后冲洗和干燥工序；做好劳动保护和三废处理工作 | 较好 | 较小 |

### 3.2.4　手工除锈的工艺流程是什么?

1）除锈前，首先除去表面各种可见污物，然后用溶剂或清洗剂脱脂。

2）用钨钢铲刀铲去大面积锈蚀。

3）用刮刀和钢丝刷除去边角部位锈蚀。

4）用锉除去焊渣等突出物和各种毛刺。

5）用砂布和钢丝刷进行清理。

6）用干净抹布，也可用抹布蘸取溶剂进行清洁并及时涂装底漆。

7）注意对于尚未失效的韧性涂膜，可予以保留，并用砂布打毛旧漆表面，将涂膜缺损处打磨成斧形，清洁后直接涂漆。

### 3.2.5　手工除锈有哪些注意事项?

制备符合检测用标准试板时应注意：先擦净试板上的油，用二甲苯或溶剂汽油擦拭干净。打磨操作是通过砂纸打磨除去表面不平整及溶剂清洗不能除去的表面污物而获得平整光滑的试验试板。钢板采用400#水砂纸干磨法打磨，磨去厚度应不少于0.7μm，以

试板质量减少量来计算。镀锌铁板应使用符合规定的500#水砂纸干磨法打磨。按以下操作程序打磨：

1）沿试板任何一边的平行方向平直均匀地来回打磨。

2）与第一次方向垂直的方向平直均匀地来回打磨，直到原表面磨去为止。

3）以直径 80～100mm 的圆周运动打磨，直到表面形成的圆圈重叠为止。

4）制作镀锌铁试板时，打磨动作要比钢板试板轻得多，以免磨料嵌入表面。

5）打磨过的试板用乙醇擦拭，去除灰尘和磨屑，存放在干燥器中待用。

### 3.2.6 手工除锈时可借助的小型机械有哪些？

1. 角向磨光机（砂轮）

角向磨光机主要用于清理毛刺、焊缝和平面除锈，分直柄和端型，使用砂轮或纸砂盘作为除锈工件，如图 3-2 所示。角向磨光机工作原理是依靠电动机高速旋转或往复运动带动打磨砂轮（砂纸）磨削或打击需要涂装的表面，达到清除铁锈及其他杂物的目的。

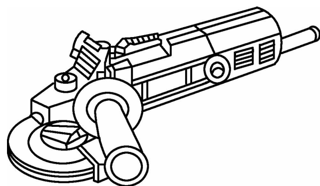


图 3-2 角向磨光机

2. 钢丝刷

将角向磨光机的砂轮换成钢丝轮成为动力钢丝刷（轮），主要用于小面积和坑洼表面除锈，除锈质量不如角向磨光机，但可除去凹陷处的锈蚀和污物，钢丝刷如图 3-3 所示。

3. 电（风）动针束除锈器

风动针束除锈器主要用于焊缝、螺栓、边角和孔洞处锈蚀和污物的处理，主要依靠针束的往复和旋转运动除锈，如图 3-4 所示。针束有长短和粗细之分，根据实际情况选用。

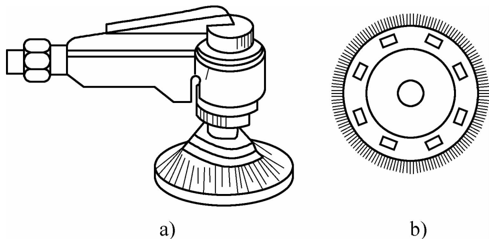



图 3-3 动力钢丝刷与圆盘形钢丝刷

a）动力钢丝刷 b）圆盘形钢丝刷

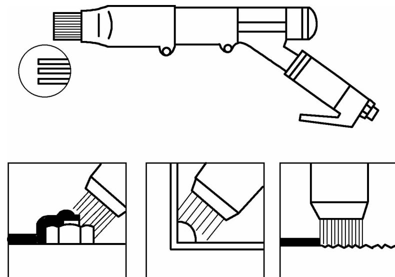


图 3-4 风动针束除锈器

4. 风动敲锈锤

如图 3-5 所示，风动敲锈锤俗称敲铲抢，是风动机械除锈中一项较灵活的工具，适用于比较狭窄的地方。它的构造由锤体和手柄组成，前端分为梅花形和尖形锤两种，锤的直径多为 25mm，依靠快速往复运动的敲击力除锈，往复速度达 1000～3000 次/min。锤的往复运动由压缩空气驱动，所需压缩空气的压力为 0.4～0.6MPa。梅花形锤主要用于平面除锈，尖形锤用于凹陷处除锈，对厚度大的锈层和脆性锈蚀有良好的去除效果。

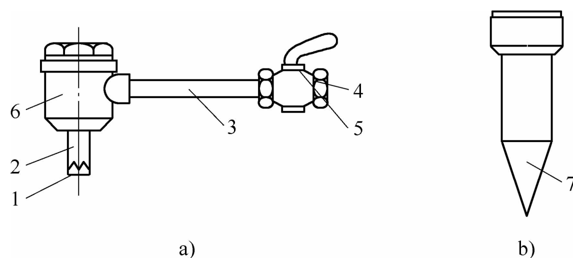



图 3-5　风动敲锈锤

a）梅花形锤　b）尖形锤

1—梅花形锤端　2—锤　3—手柄　4—压缩空气入口　5—旋塞

6—垂体　7—尖端锤端

5. 齿形旋转除锈器

齿形旋转陈锈器是利用高速旋转的齿形片与金属表面的锈层相摩擦和撞击而实现除锈目的，如图 3-6 所示。

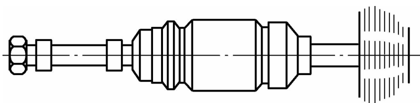


图 3-6　齿形旋转除锈器

### 3.2.7　借助小型机械除锈时有哪些注意事项？

1）首先将表面油污除去。

2）在除锈过程中，应按先易后难、先下后上的原则有序进行。

3）对旧涂层，可以根据具体要求，如允许保留（仅考虑防腐蚀作用时，可保留），使用往复式电动打磨器或砂布打磨露出新表面。

4）用动力工具除锈前，要先做好配套设施和安全工作准备，包括工具、脚手架、照明和劳动保护等。

5）对焊缝区、火工烧损区、自热锈蚀区作彻底打磨至呈现金属本色。

6）使用风（电）动工具前，应仔细检查设备的完好程度，发现损坏或松裂现象，应及时修理或更换，并注意风管的接头是否牢靠。

7）除锈完毕后，用高压空气或干净抹布及时清理干净，涂上底漆。如果原始表面油污很多时，需用溶剂等进一步脱脂。

8）机械工具要定期保养，连续使用时，要经常加油，工作完毕做好清洁和维护工作。

9）为防止砂轮片、齿轮片或钢丝飞溅而伤害人体，操作者必须做好劳动防护，如戴防护面罩和防护眼镜等。

### 3.2.8　喷砂（丸）除锈的工作原理是什么？

喷砂和喷丸的原理基本相同，它们是用适当压力的压缩空气，使砂粒或钢丸以每秒几十米的速度喷出，冲击钢铁表面的氧化皮和铁锈层，从而使钢板表面氧化皮和铁锈层被快速清除。当压缩空气工作压力达到 0.4～0.5MPa，喷射器喷出的砂粒或钢丸的最高速度可达 50～70m/s，连续不断的砂粒或钢丸喷射到钢铁表面上时，产生非常大的冲击力和摩擦力，依靠冲击、磨削等作用除锈。

砂粒或钢丸产生的喷射作用是通过喷射器实现的。喷射器有吸入型和压出型两种，它们的工作原理分别如图 3-7 和图 3-8 所示。

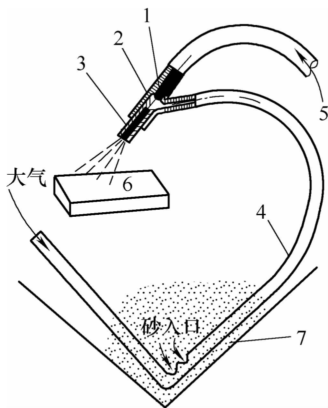



图 3-7　吸入型喷射器工作原理
1—压缩空气喷嘴　2—混合室　3—工作喷嘴　4—喷射胶管　5—压缩空气　6—压力室　7—集砂器

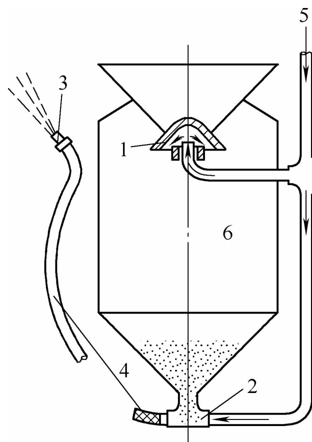



图 3-8　压出型喷射器工作原理
1—气动伞阀　2—混合室　3—喷嘴　4—吸引管　5—压缩空气管　6—工件

1. 吸入型喷射器

吸入型喷射器是利用气力引射器的原理，当压缩空气从喷嘴中喷出，使混合室内的自由空气发生引射作用，在混台室中产生负压，吸引集砂器中的砂粒，经吸引管吸入混合室内，在空气喷嘴不断喷射的气流作用下，从工作喷嘴喷出，使砂粒冲击在工件上。为了在混合室内产生较高的负压，又保证从工作喷嘴中喷出的砂粒具有一定的速度和冲击力，工作喷嘴的截面积应比压缩空气喷嘴的截面积大 2 ~ 3 倍。吸入型喷射器常装配在小型密封喷砂室内使用。

2. 压出型喷射器

喷射时，压力室内的压力与压缩空气管内的压力相同。压力室内的砂粒或钢丸，在压力和自重的作用下，不断地流入混合室内，由于来自压缩空气管内的横向气流，不断地向喷砂胶管和喷嘴方向流动，使砂粒或钢丸在混合室、喷砂腔管和喷嘴内与空气充分混合并使磨料获得一定的输送速度至喷嘴出口。出口处压缩空气迅速膨胀扩散，磨料又一次加速，从而使喷射力大大增加。压出型喷射器在钢铁构件的除锈方面和浇铸件的清砂、清理方面得到了广泛的应用。在开放式的施工现场，最常用的也是压出型喷砂设备。

### 3.2.9　怎样利用喷丸（砂）除锈系统进行除锈?

喷丸（砂）除锈系统由压缩空气及配气、喷丸（砂）设备、铁丸回收、通风除尘等部分组成，如图 3-9 所示。压缩空气经油水分离后进入配气罐，一部分输入喷丸缸，一部分经过滤器，提供给操作者作为呼吸用气。喷丸缸内铁丸在压力空气推动下，经导管进入喷枪，从喷嘴射向工件表面。喷出的丸粒经筛网落入丸坑，经回收处理后，输入

喷丸缸再用。筛网上的废物转入废物箱。喷丸室的含尘气和丸粒回收装置中的粉尘通过风机吸进除尘设备除尘，然后排向大气。

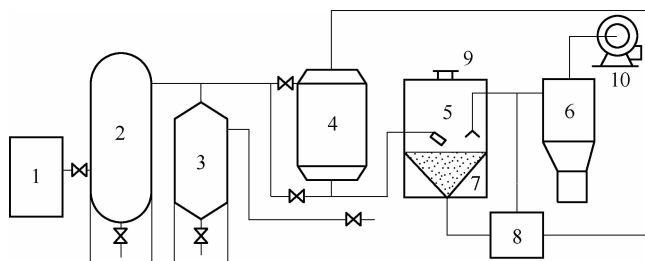



图3-9　喷丸（砂）除锈系统

1—压缩机　2—油水分离器　3—空气过滤器　4—喷丸（砂）机　5—喷丸（砂）室　6—除尘设备　7—集丸坑　8—丸粒回收装置　9—进风口　10—风机

### 3.2.10　喷砂（丸）除锈系统设备有哪些类型?

1. 敞开式喷砂（丸）机械

敞开式喷砂（丸）机是敞开式工业化工作环境，特别是油罐或船体除锈最常用的机械，除锈效率高，钢板表面处理质量好，操作相对简单，但环境污染大，噪声大，磨料回收率低。操作时，必须遮蔽其他相邻物体，并采取必要的措施减少粉尘污染危害。设备主要由高压喷砂（丸）罐、喷枪、空气压缩机、磨料回收装置等组成。

2. 自动循环回收式喷砂机

前面叙述的敞开式喷砂（丸）除锈设备，具有除锈效率高、质量好等特点，但粉尘在一定范围内四处飞扬，工作环境较为恶劣。自动循环回收式喷砂机集喷砂、回收、循环、分离、除尘于一体，无污染及砂料四处飞扬现象，是新一代的环保型喷砂设备。

### 3.2.11　根据丸（砂）的输送方式的不同，喷丸（砂）设备有哪些类型?

喷丸（砂）设备根据丸（砂）的输送方式，有压力式、吸入式和自流式三种类型。

1）压力式是采用直射型喷枪设备，结构较复杂，但生产效率高，适于大、中型工件的除锈。

2）吸入式采用的引射型喷枪，设备较简单，但生产效率较低，消耗压缩空气量较大，且由于喷枪上联有两根软管，使用不太方便。它一般多用于小型喷砂室，适用于小工件的除锈。

3）自流式采用的是固定喷枪，砂料由贮料仓自由落入喷枪混合室，然后被喷出。它适于对工件进行自动化除锈，但实际使用较少。

### 3.2.12　喷丸（砂）除锈使用的磨料如何分类?

喷丸（砂）除锈使用的磨料有很多种类，可用金属丸、碎粒、砂、玻璃、矿渣、塑料及其他材料作为磨料。磨料的种类、硬度、密度、尺寸及形状是决定磨料性能的主要因素。喷丸（砂）用磨料的分类如图3-10所示。

### 3.2.13　怎样选择喷丸除锈的磨料?

喷丸除锈磨料的选择，除考虑磨料自身的性能外，还需要考虑工件表面锈蚀程度、

工件尺寸和形状、表面精饰要求、喷丸设备类型和效率、生产率要求等因素。不同表面状态适用的磨料及其特性见表 3-5。

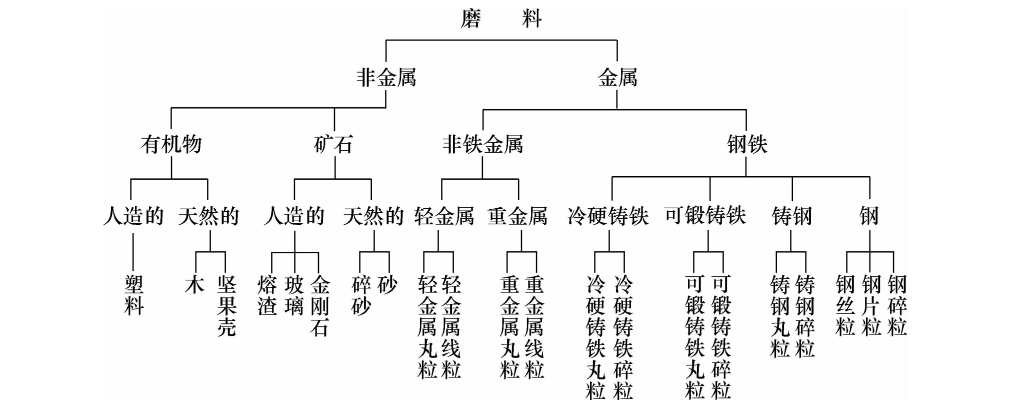



图 3-10　喷丸（砂）用磨料的分类

**表 3-5　不同锈层适用的金属磨料尺寸与硬度**

| 应用范围 | 推荐的磨料 | | | 应用范围 | 推荐的磨料 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 类　型 | 直径/mm | 硬度（HRC） | | 类　型 | 直径/mm | 硬度（HRC） |
| 铁金属 | 铸钢或铸铁 | | | 为磷化清除重氧化皮 | 丸或碎粒 | 0.71～2.0 | 45～66 |
| 为磷化清除轻氧化皮 | 丸或碎粒 | 0.2～0.71 | 30～66 | 清理铸件 | 丸或碎粒 | 0.43～2.0 | 30～66 |

不同工件适用的砂粒尺寸及其空气压力见表 3-6。

**表 3-6　不同工件适用的砂粒尺寸及空气压力**

| 工件种类 | 空气压力/kPa | 砂粒尺寸/mm | 工件种类 | 空气压力/kPa | 砂粒尺寸/mm |
|---|---|---|---|---|---|
| 钢锻件、大型铸件、厚 3mm 以上的钢板冲压件 | 200～400 | 2.5～3.5 | 薄的和小的工件 | 50～100 | 0.5～1.0 |
| 厚度在 3mm 以下的板材 | 100～200 | 1.0～2.0 | 有色金属铸件<br>厚 1mm 以下的板材 | 100～150<br>30～50 | 0.5～1.0<br>0.05～0.15 |

不同厚度结构件钢板适用铁丸的尺寸见表 3-7。

**表 3-7　不同厚度结构件钢板适用的铁丸尺寸**

| 结构钢板厚度/mm | 铁丸直径/mm | 结构钢板厚度/mm | 铁丸直径/mm |
|---|---|---|---|
| 2～2.5 | 0.5 | 4～6 | 1.0 |
| 3～4 | 0.8 | 7～12 | 1.5 |

硅砂是最常用的非金属磨料，处理后的表面比较光亮，表面粗糙度值较小。但由于易破碎，消耗量大，且灰尘多，易造成硅肺，应在封闭式的喷砂室或露天条件下操作，已逐渐趋于被淘汰。金属磨料（如铁丸），价格较便宜，含砂量少，目前被大量采用。铁丸 + 钢碎粒混合作为磨料，可以一定程度地提高除锈效率和质量。

### 3.2.14　检查压缩空气源的规程及标准是什么？

检查压缩空气源的规程是：首先检查出口处出来的空气是否潮湿和夹杂油，此出口应尽可能接近利用空气的设备。在气流中，将吸墨纸等试验材料至少保留 2min，与试验气流出口的距离小于 60cm。检查频率为在每天使用之前检查，至少每 4h 检查一次，在阴雨、潮湿等相对湿度较大的天气，检查频率应提高。若压缩空气由多空气源的几台压缩机提供，可不必试验每一台空气的洁净度，只需检查由喷嘴吹出来的空气。压缩空气的检测标准见表 3-8。

**表 3-8　压缩空气检测标准**

| 材　　料 | 合　　格 | 不　合　格 |
|---|---|---|
| 压缩空气 | 吸附材料或试验材料目测观察或接触时未发现油、污染物或潮湿，无特殊油味 | 吸墨纸等试验材料放于气流中出现水珠、脱色或潮湿外观，触摸时感觉试验材料有油或油腻，有特殊油味 |

### 3.2.15　自动循环回收式喷砂设备的组成及原理分别是什么？

自动循环回收式喷砂设备一般由喷砂（丸）系统和自动回收系统组成，工作流程如图 3-11 所示。喷砂（丸）系统的原理和一般压出式喷砂（丸）原理相同，利用压缩空气将砂（丸）粒料从一个特殊的喷嘴喷射到工件表面，同时气力引射器造成回收室内的高度真空，利用真空原理吸回喷出的粒料及产生的粉尘，最终分离、过滤出粉尘，砂（丸）粒料循环再用，整个过程均在密封的条件下进行。

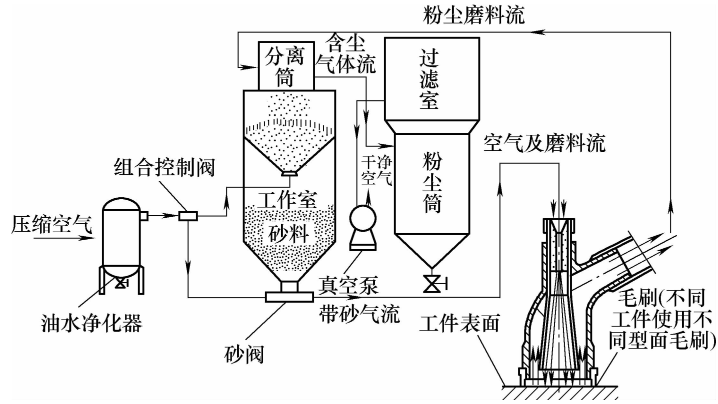



图 3-11　自动循环回收式喷砂机的工作流程

### 3.2.16　喷丸操作的注意事项有哪些？

1）确认喷丸人员与所用的喷枪、喷丸缸和次序、编号。

2）调整喷砂室除尘系统和转换阀门，使全室处于通风位置。

3）起动风机时，应按照电气设备的要求，逐级起动，直至投入正常运转。

4）喷丸工人穿好防护服，戴好防护头盔，手握喷丸胶管，进入喷砂车间，另一工人先将铁丸装满丸缸，打开压缩空气进口阀开始供给呼吸用气。得到要求喷射的信号后，打开总阀。

5）开启喷丸缸时，先开启压气阀，再微开进气阀，然后打开出丸阀，最后调节进气阀和出丸阀，使出丸量和进气量的混合比达到最佳喷射条件为止，通常对密闭的舱室喷丸，出丸量要开得小一些。

6）喷丸过程中，掌握适合的喷射距离和喷射角度，防止铁丸的飞溅，对环形工件和有底的工件，首先应先喷射底部，然后再射顶部和周围，否则喷射溅落的铁丸在底部汇聚，造成喷射困难。

7）喷射工作完成时，首先关闭出丸阀，再连续供气几分钟，使管道内剩余的磨料喷完，同时吹净管道后，再关闭进气阀。若喷丸人员需要进行吹扫工作，可在吹扫工作完毕后再关闭。打开排气阀将缸内的剩余气体排除，使缸内压力与外界大气压平衡，最后关闭压缩空气进气阀。有些喷丸缸的压气阀和排气阀合用一只三通阀，操作时将压力位置转向排气位置即可。

8）喷丸工作结束后，全室通风的风机应继续开动 5 ~ 10min，使喷丸车间的含尘气体排尽。

### 3.2.17　怎样进行喷丸设备的维护保养？

1）分离器的排灰管、除尘管道的积灰和废料桶内的废物要定期清除；湿式除尘器的沉淀池、污水池的积水要定期调换。

2）呼吸用的空气过滤系统及内部的各种过滤物料，每季度必须按照原有材料进行更换，换下的物料若能清洁处理可重复使用。

3）喷丸缸下部的混合室每周必须拆下清洁，尤其在雨季或湿度较大的季节，要多检查，防止铁丸和粉尘在混合室内结成硬块，造成堵塞，保证喷丸工作正常进行。

4）除尘系统和铁丸回收的分离装置极易磨损，如旋风式除尘器或分离器和压进式气力回收的管道及其分离板等，应经常检查和及时修复。

5）照明设备应经常进行清洁和检查，防护玻璃如有发毛或破损要及时更换。

### 3.2.18　抛丸除锈的工作原理是什么？

抛丸机工作时，叶轮由电动机带动高速旋转（2200 ~ 2600r/min），产生强大的离心力。铁丸在离心力和自重的作用下，经漏斗被吸入分丸轮，同叶轮一起高速旋转的分丸轮产生离心力，从定向套的出口处飞出。定向套是用螺栓和压板固定在机壳上的，它的内径与分丸轮的外径有一定的间隙。从定向套出口向外飞出的铁丸，被叶轮再次加速，沿叶片长度方向加速运动直至 60 ~ 80m/s 的速度抛出。抛出的铁丸成扇形流束，打击在钢板表面以除去氧化皮和锈蚀，使其脱落除去。

### 3.2.19　抛丸（砂）除锈具有哪些优点和缺点？

1. 抛丸（砂）除锈的优点

抛丸（砂）除锈，彻底改变了人工操作的喷丸（砂）除锈，完全由机械操作，劳

动强度低、除锈质量高。

（1）提高产品质量　抛丸除锈不但能迅速准确地除去铁锈和氧化皮，而且经抛丸处理后，钢板表面清理质量均匀，呈现均匀粗糙度，可以提高涂装时涂层的附着力，延长涂料使用寿命。人工喷丸时，有时会出现漏喷现象，而机械操作的抛丸设备克服了这一缺陷。抛丸后，钢板表面受弹丸冲击得到了强化，提高材料的疲劳强度和抗腐蚀能力，消除了焊缝的内应力，同时，外壳等部位经抛丸整体除锈，经受强力的铁丸抛射，会暴露出外板上隐蔽的裂缝或壳板过度腐蚀状况，可以起到全面检查外壳质量的效果。

（2）节约用电　采用抛丸除锈和喷丸除锈清理 $100m^2$ 的表面相比，用抛丸代替喷丸可以节约用电 95%。这里指的是单纯用于抛丸设备和喷丸设备的用电，一般产品的综合用电节约指标将小于此数。

（3）改善劳动条件　由于可在密闭的条件下进行，再配以粉尘回收装置以免污染环境，因此工作周围环境卫生良好，也有利于工人的身体健康。配以自动化涂漆装置，则可达到除锈和涂装车间底漆一体化的自动化流水作业。

（4）提高生产效率　理论上，用抛丸方法取代喷丸后，劳动效率提高约 15 倍。

2. 抛丸除锈（砂）的缺点

抛丸除锈（砂）的缺点是当磨料和抛射角度不对时，会造成钢板变形。抛丸设备和基建投资价格较高。

### 3.2.20　什么是激光除锈（激光清洗）?

激光除锈指利用激光的高能量、集中性高的特点照射被加工的工件，使得基体表面附着物（污垢、氧化皮、锈斑、有机涂层等）吸收激光能量后，以熔化、气化挥发、瞬间受热膨胀并被蒸气带动脱离基体表面，从而达到净化基体表面目的的除锈方法。激光清洗（激光除锈）设备如图 3-12 所示。

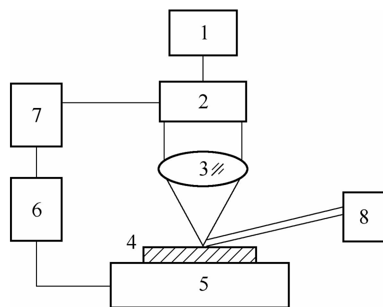



图 3-12　激光清洗（激光除锈）设备
1—监视系统　2—光学系统　3—透镜
4—被清洗（除锈）工件　5—工作台
6—计算机　7—激光器　8—吸尘装置

### 3.2.21　激光清洗（激光除锈）有何优点?

1）高效、快捷、成本低；对基体的热负荷和机械负荷小，不损伤基体。

2）不需用水或溶剂，且废物易于收集，对环境无污染。

3）安全可靠，不损害操作人员健康。

3）适应范围广，可清除锈斑、氧化皮、污垢和各种不同厚度、不同成分的涂层。

4）清洗过程易于实现自动化、实现远距离遥控操作，可用于大规模的清洗工作。

激光清洗的主要问题是需要有激光器及相应的配套设备，价格较高，一次性投资较大。

### 3.2.22　怎样控制机械除锈的质量?

机械除锈的质量主要包括两个方面，即锈层、污物的去除程度和除锈后工件的表面粗糙度。

1）钢材表面原始锈蚀程度的说明及符号见表 3-9。

**表 3-9　钢材表面原始锈蚀程度**

| 等级符号 | 锈 蚀 程 度 | 等级符号 | 锈 蚀 程 度 |
|---|---|---|---|
| A | 全面覆盖着氧化皮而几乎没有铁锈的钢材表面 | C | 氧化皮已因锈蚀而剥落，或者可以刮除，并且有少量点蚀的钢材表面 |
| B | 已发生锈蚀，并且部分氧化皮已经剥落的钢材表面 | D | 氧化皮已因锈蚀而全面剥离，并且已普遍发生点蚀的钢材表面 |

钢材除锈后表面等级质量说明及符号见表 3-10。

**表 3-10　钢材除锈后表面等级**

| 等级符号 | 除 锈 方 式 | 除 锈 质 量 |
|---|---|---|
| Sa1 | 轻度的喷射或抛射除锈 | 钢材表面应无可见的油脂和污垢，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和涂料涂层等附着物 |
| Sa2 | 彻底喷射或抛射除锈 | 钢材表面应无可见的油脂和污垢，并且氧化皮、铁锈和涂料涂层等附着物已基本清除，其残留物应是牢固附着的 |
| Sa2 $\frac{1}{2}$ | 非常彻底的喷射或抛射除锈 | 钢材表面应无可见的油脂、污垢，氧化皮、铁锈和涂料涂层等附着物，任何残留的痕迹应仅是点状或条纹状的轻微色斑 |
| Sa3 | 使钢材表观洁净的喷射或抛射除锈 | 钢材表面应无可见的油脂、污垢，铁锈、氧化皮和涂料涂层等附着物，该表面应显示均匀的金属色泽 |
| St2 | 彻底的手工和动力工具除锈 | 钢材表面应无可见的油脂和污垢，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和涂料涂层等附着物 |
| St3 | 非常彻底的手工和动力工具除锈 | 钢材表面应无可见的油脂和污垢，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和涂料涂层等附着物。除锈应比 St2 更彻底，底材显露部分的表面应具有金属光泽 |
| F1 | 火焰除锈 | 钢材表面应无氧化皮、铁锈和涂料涂层等附着物，任何残留的痕迹应仅为表面变色（不同颜色的暗影） |

除锈等级与其对应的彩色照片见表 3-11。

**表 3-11　除锈等级与其对应的彩色照片**

| 除锈等级 | 对应的彩色照片等级① | 除锈等级 | 对应的彩色照片等级① |
|---|---|---|---|
| Sa1 | BSa1、CSa1、DSa1 | Sa3 | ASa3、BSa3、CSa3、DSa3 |
| Sa2 | BSa2、CSa2、DSa2 | St2 | BSt2、CSt2、DSt2 |
| Sa2 $\frac{1}{2}$ | ASa2 $\frac{1}{2}$、BSa2 $\frac{1}{2}$、CSa2 $\frac{1}{2}$、DSa2 $\frac{1}{2}$ | St3 | BSt3、CSt3、DSt3 |
| | | F1 | AF1、BF1、CF1、DF1 |

① 彩色照片参见 GB/T 8923.1—2011、GB/T 8923.2—2008 和 GB/T 8923.3—2009。

2）表面粗糙度是指加工表面上所具有的较小间距和波谷所组成的微观几何形状特征。表面粗糙度的测量在实际使用时可用磁性厚度仪或者便携式表面粗糙度仪进行测量，也可以用标准块进行比较。

3）在确定选用何种除锈质量等级时，必须从技术经济效果综合权衡，通常需要考虑的因素有：①被涂工件所处的工况条件和腐蚀环境；②所选用涂料的品种；③涂层寿命的要求；④对涂层装饰性能的要求；⑤除锈的费用等。

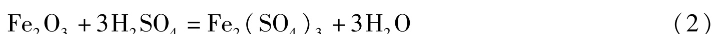
### 3.2.23　化学除锈（酸洗）的原理是什么？

化学除锈原理主要是利用酸与氧化物（锈蚀）反应，生成可溶或不可溶性铁盐；同时反应过程中产生氢气，又可破坏锈层和氧化皮，从而达到除去锈蚀的目的。

例如，钢铁表面的氧化皮和锈蚀的主要成分是铁的氧化物 $Fe_3O_4$、$Fe_2O_3$、FeO 等，用硫酸处理产生下列化学反应：



$$Fe_3O_4 + 4H_2SO_4 = FeSO_4 + Fe_2(SO_4)_3 + 4H_2O \quad (1)$$



$$Fe_2O_3 + 3H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 3H_2O \quad (2)$$



$$FeO + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2O \quad (3)$$



$$Fe + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2\uparrow \quad (4)$$

反应（4）产生氢气，当氢分子从金属表面析出时，对锈蚀产物产生压力，使氧化皮疏松并自动剥落下来。反应（1）、反应（2）进行迟缓，氢可以把 $Fe_3O_4$、$Fe_2O_3$ 还原成 FeO，加快反应速度。

当使用盐酸和磷酸除锈时，也会产生类似的化学反应，生成类似的盐和水。

### 3.2.24　化学除锈（酸洗）常用的酸有哪些？

化学除锈工艺常用无机酸和有机酸作为除锈材料，化学除锈常用酸见表 3-12，因而通常又称为酸洗。

**表 3-12　化学除锈常用酸**

| 名　称 | 分子式 | 水中溶解度/(g/100g) | pH 值(0.1N) | 名　称 | 分子式 | 水中溶解度/(g/100g) | pH 值(0.1N) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 硫酸 | $H_2SO_4$ | ∝ | — | 酒石酸 | $C_4H_6O_6$ | 133(25℃) | 2.20 |
| 盐酸 | HCl | ∝ | — | 乳酸 | $C_3H_6O_3$ | ∝ | 2.65 |
| 硝酸 | $HNO_3$ | ∝ | — | 戊酮酸 | $C_5H_8O_3$ | ∝ | 3.10 |
| 磷酸 | $H_3PO_4$ | ∝ | — | 葡萄糖酸 | $C_6H_{12}O_7$ | 59.0(25℃) | 3.30 |
| 氢氟酸 | HF | ∝ | — | 柠檬酸 | $C_6H_8O_7$ | 59.2(20℃) | 3.20 |
| 铬酐 | $CrO_3$ | ∝ | — | 琥珀酸 | $C_4H_6O_4$ | 6.8,60.4 | — |
| 草酸 | $C_2H_2O_4$ | 10,120 | 1.9 | 苹果酸 | $C_4H_6O_5$ | ∝ | — |
| 氨基磺酸 | $NH_2HSO_3$ | 24.2(25℃) | 1.20 | 醋酸 | $C_2H_4O_2$ | ∝ | — |
| 乙醇酸 | $C_2H_4O_3$ | ∝ | 2.70 | | | | |

### 3.2.25　化学除锈（酸洗）常用缓蚀剂有哪些？

为减少酸液对钢铁基体的腐蚀和减少氢脆倾向，通常都添加缓蚀剂。几种常用酸洗缓蚀剂见表 3-13。

表 3-13　几种常用酸洗缓蚀剂

| 名　　称 | 主 要 成 分 | 适用溶液的质量分数(%) | 使用质量分数(%) | 缓蚀效率(%) | 使用温度/℃ |
|---|---|---|---|---|---|
| 若丁 | 二邻甲苯基硫脲、淀粉、平平加、氯化钠 | HCl　18 以下<br>$H_2SO_4$　20 以下<br>$H_3PO_4$ | 0.2～0.5 | >95 | <60 |
| 乌洛托平 | 分子式为 $C_6H_{12}N_4$ | HCl　10<br>$H_2SO_4$　10 | 0.3～0.5 | 70<br>89 | 40 |
| 硫脲 | 分子式为 $CH_4N_2S$ | $H_2SO_4$　10<br>$H_3PO_4$　10<br>HCl、HF | 0.1～0.3 | 74<br>93 | 60 |
| FH-1 酸洗缓蚀剂 | 石油副产品提炼的含氮化合物 | $H_2SO_4$、HCl、HF、$HNO_3$、$H_3PO_4$ | 1～1.5 | 98 | 60～100 |
| 沈 1-D | 苯胺与甲醛的缩合物 | HCl　10 | 0.5 | 96 | 50 |
| FH-2 | 石油副产品提炼的含氮化合物 | HCl　10<br>$H_2SO_4$、HF | 0.4～1.0 | 99 | 70 |
| 硫酸-5010 | 咪唑化合物与硫脲 | $H_2SO_4$　10～20<br>HCl | 0.1～0.3 | | 50 |
| 工读-3 号 | 苯胺与乌洛托平缩合物 | HCl　10<br>$H_2SO_4$ | 0.4 | 96 | 50 |
| SH-416 酸洗缓蚀剂 | 吡唑酮衍生物与助剂 | HF≤2<br>HCl　10 | 0.3<br>0.2～0.3 | 98 | 30～50 |
| 蓝-5 | 乌洛托平、苯胺等 | $HNO_3$ | — | — | — |
| 柠缓-1 号 | 咪唑啉类与吡唑酮类 | $C_6H_8O_7$　3-4 | 0.3 | 90～95 | — |

### 3.2.26　化学除锈（酸洗）常用润湿剂有哪些?

为改善化学除锈过程，缩短除锈时间，常在酸洗液中添加润湿剂。几种用于酸洗的润湿剂见表 3-14。

表 3-14　几种用于酸洗的润湿剂

| 名　　称 | 主 要 成 分 | 类　型 | pH 值 | 浊点/℃ |
|---|---|---|---|---|
| 乳化剂 MOA-15 | 脂肪醇与环氧乙烷缩合物 | N | 4～7 | ≥90 |
| 平平加 0-15<br>平平加 0-20 | 脂肪醇与环氧乙烷缩合物 | N | 中性<br>7～8 | 65～68<br>90～100 |
| 匀染剂 102 | 高级脂肪醇与环氧乙烷缩合物 | N | 4～7 | ≥90 |
| 渗透剂 JFC | 脂肪醇聚氧乙烯醚 | N | 中性 | 42～45 |
| OP-10 | 烷基酚聚氧乙烯醚 | N | 8～9 | — |

（续）

| 名　　称 | 主要成分 | 类　型 | pH值 | 浊点/℃ |
|---|---|---|---|---|
| 乳百灵A | 脂肪醇与环氧乙烷聚合物 | N | 中性 | 70 |
| 洗净剂TX-10 | 仲辛烷基苯酚与环氧乙烷聚合物 | N | 4~7 | 51~65 |
| 吐温-80 | 失水山梨醇油酸酯聚氧乙烯醚 | N | 5~7 | — |
| 司本-85 | 失水山梨醇三油酸酯 | N | — | — |
| 十二烷基磺酸钠 | $C_{12}H_{25}SO_3Na$ | A | — | — |

注：N—非离子型；A—阴离子型。

常用的润湿剂是非离子型表面活性剂，因其在强酸介质中很稳定。阴离子型表面活性剂只采用磺酸盐型一种，一般不采用阳离子型表面活性剂。

### 3.2.27　化学除锈（酸洗）对设备有何要求？

根据使用的除锈方法的不同，化学除锈工艺可以满足小批量的手工操作，也可以满足大规模的自动化生产需要。不同化学除锈方法的特点及对设备的要求见表3-15。

**表3-15　不同化学除锈方法的特点及对设备的要求**

| 方　法 | 特点及对设备的要求 |
|---|---|
| 擦拭法 | 方法简单,无设备的要求。用浸酸液的布或海绵擦拭工件,操作者应戴防酸的手套、服装或围裙。适用于小批量或很大的工件的酸洗。酸液一般不回收再用 |
| 浸渍法 | 是最通用的方法,适用于在室温或加温条件下,手动或自动化操作。适用于不同产量的要求。清洗槽都要用防酸结构,视所用酸的种类、温度、浓度不同,可采用橡胶、塑料或铅等作防腐蚀衬里。与酸液接触的传输、加热和搅拌等装置,也需采取防腐蚀措施 |
| 喷射法 | 生产效率高、产量大,适于大规模生产。酸液浓度比浸渍法低。酸液循环使用,但应定期过滤。设备费用较高。喷射系统、贮液槽、传输装置等都应采取防腐蚀措施 |
| 滚筒法 | 适用于大批量的小工件清洗,滚筒中需加其他介质,如石料,以增加刮擦作用和防止工件彼此损伤。不适用于较精密的冲压件。滚筒等与酸液接触的部件,需用耐腐蚀材料制作 |
| 电解法 | 常连接在碱液清洗后为获得较高清洁表面的酸洗。酸液槽需采用防腐蚀结构。常用硫酸作电解液,如$H_2SO_4$55%~70%,若丁1%,以铅作阳极,在室温10A/$dm^2$下,电解小于2min |

### 3.2.28　化学除锈（酸洗）操作有哪些注意事项？

1）保持酸液清洁。

2）控制酸洗液浓度。

3）控制温度。

4）适当搅拌。

5）注意水洗程序。

6）除锈过程必须连续进行。

7）控制时间。

8）注意安全。

9）定期清除酸洗槽中污泥。

10）酸洗场地应有排风装置。

## 3.3 脱脂

### 3.3.1 脱脂的原理及常用方法分别是什么？

脱脂的原理主要是利用机械作用及各种化学物质的溶解、皂化、润湿、渗透等作用来除去物料表面的油污。脱脂通常是工件表面处理的第一道工序。有时对于一些常年浸泡在油脂中的工件，在除锈后仍然需要再次进行脱脂处理。常用的脱脂方法包括机械法、有机溶剂脱脂、化学脱脂、电化学脱脂、擦拭脱脂、滚筒脱脂和超声波脱脂，以及采用油水分离装置来除去油污，也可将以上方法联合使用，以达到更好的效果。

### 3.3.2 脱脂的目的是什么？

（1）提高除锈质量　锈层或氧化皮表面的油脂和脏物将阻碍或降低除锈溶液对工件表面锈层或氧化皮的溶解、剥离作用，减缓除锈速度。特别是采用喷砂或喷丸除锈工艺时，若喷射磨料沾污了油脂，则此磨料已不能再用，否则，将对表面带来二次污染。因此，大多数技术规范都要求在喷磨料清理之前，除尽油脂和类似物质。

（2）提高磷化质量　磷化之前或磷化过程中，必须把工件表面的各种油脂、脏物、锈、氧化物等异物彻底清除。如果工件表面的异物未被彻底去除，将对磷化起到一种机械屏蔽作用，影响磷化漕液与工件表面的良好接触，延缓成膜速度，严重时不能形成磷化膜。典型的磷化工艺流程需要经过：预脱脂—脱脂—水洗—表面调整—磷化—水洗—去离子水洗—干燥等步骤。

（3）提高涂层质量　脱脂不彻底，将影响涂层的附着力，特别是对于聚氨酯、氯化橡胶、丙烯酸、乙烯类涂料，将会造成涂刷困难，同时影响涂层的干燥性能。对于醇酸、环氧树脂等单组分涂料，造成慢干或不干。形成涂膜后，影响涂膜的耐蚀性和装饰性能，是涂层起泡、脱落，甚至造成整张涂膜剥离等弊病的重要原因之一。

### 3.3.3 钢铁材料表面脱脂的基本方法有哪些？

钢铁材料表面脱脂的基本方法及其特点见表 3-16。

**表 3-16　钢铁材料表面脱脂的基本方法及其特点**

| 脱脂方法 | 使用方式 | 特　点 |
|---|---|---|
| 燃烧法 | 工件加热到 300 ~400℃，使油脂燃烧掉 | 油脂可以完全烧除，但工件表面可能留有残炭 |
| 喷砂（丸）法 | 喷砂（干喷或湿喷）喷丸、抛丸 | 喷砂不仅能除锈，也能除去油脂，脱脂除锈可以一次完成，但不适用于断面厚度较小的工件和小件 |
| 碱液清洗 | 可用浸渍、喷射或滚筒等方式进行清洗 | 传统高温“三碱”价格低廉，方法简便，留下亲水性表面。对难皂化的油污，除油效率低 |
| 乳化清洗 | 溶剂乳化清洗表面活性剂水溶液清洗 | 含有机溶剂和表面活性剂，可除去油污及无机盐，但溶剂乳化清洗除不尽树脂化的油类和渗入微孔中的油脂。表面活性剂易起泡沫 |

（续）

| 脱脂方法 | 使用方式 | 特　点 |
|---|---|---|
| 溶剂清洗 | 冷溶剂清洗，包括：擦洗、浸洗、喷洗 | 对油脂类污物有良好溶解能力，但使用中应注意安全 |
| | 蒸气清洗，包括：单一蒸气清洗；蒸气—浸渍—蒸气；蒸气—喷射—蒸气；沸腾溶剂—热溶剂—蒸气清洗 | 脱脂速度快，效率高，但不能除去无机盐和碱类物质 |
| | 两相清洗 | 用互不相溶的水和氯烃（如三氯乙烯、过氯乙烯或二氯甲烷）作溶剂，适于除去油溶性和水溶性污物 |
| 电解清洗 | 阴极电解清洗<br>阳极电解清洗 | 铁基金属及其合金用阳极电解清洗，可以避免氢脆，非铁金属阴极电解清洗，可以避免被溶解。清洗后可获得最清洁的有活性的表面 |
| 超声波清洗 | 在水溶液中或有机溶剂中浸渍清洗 | 清洗作用很强，能除去粘稠污物，能渗入小缝隙清洗嵌入的污物。不损伤基体 |

### 3.3.4　机械法脱脂有哪些方法？

采用机械法脱脂主要适用于采用化学或电化学方法脱脂困难时的一种方法。机械法脱脂有：

（1）擦拭法　利用毛刷或者抹布粘上脱脂剂在工件表面擦拭进行脱脂的方法。常用的脱脂剂有洗衣粉、维也纳石灰、去污粉、金属清洗剂等。

（2）喷砂法　以压缩空气为动力，使沙粒形成高速砂流射向金属工件表面，依靠沙粒的切削作用进行脱脂的方法。喷砂法常用的磨料为钢砂、石英砂、氧化铝及碳化硅等。

（3）燃烧法　即将含有油脂的工件加热到300～400℃，将油脂炭化后予以清除的方法。

### 3.3.5　有机溶剂脱脂时常用的有机清洗溶剂有哪些？

有机溶剂脱脂是利用有机溶剂能溶解油脂的物理性质，将工件表面的油污除去的一种脱脂方法。常用的清洗用溶剂主要有汽油（白油）、乙醇、苯、石油溶剂、甲苯、松节油、煤油、二甲苯和含氯溶剂等，常用有机清洗溶剂的物理化学性能见表3-17。

**表3-17　常用有机清洗溶剂的物理化学性能**

| 名称 | 结构简式 | 相对分子质量 | 密度/(g/cm$^3$) | 沸点/℃ | 燃烧性 | 爆炸性 | 毒性 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 汽油 | 长链烃 | 85～140 | 0.69～0.74 | | | | |
| 乙醇 | $C_2H_5OH$ | 46 | 0.789 | 78.5 | | | |
| 苯 | $C_6H_6$ | 78.11 | 0.895 | 80 | 易 | 易 | 强 |
| 甲苯 | $C_6H_5CH_3$ | 92.13 | 0.866 | 110～112 | 易 | 易 | 有 |
| 二甲苯 | $C_6H_4(CH_3)_2$ | 106.2 | 0.897 | 136～144 | 易 | 易 | 有 |

（续）

| 名称 | 结构简式 | 相对分子质量 | 密度/($g/cm^3$) | 沸点/℃ | 燃烧性 | 爆炸性 | 毒性 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 丙酮 | $C_3H_6O$ | 58.08 | 0.79 | 56 | 易 | 易 | 无 |
| 二氯甲烷 | $CH_2Cl_2$ | 84.94 | 1.316 | 39.8 | 不 | 易 | 有 |
| 四氯化碳 | $CCl_4$ | 153.8 | 1.585 | 76.7 | 不 | 不 | 有 |
| 二氯乙烯 | $C_2H_2Cl_2$ | 133.42 | 1.322 | 74.1 | 不 | 不 | 无 |
| 三氯乙烯 | $C_2HCl_3$ | 131.4 | 1.456 | 86.9 | 不 | 不 | 有 |
| 四氯乙烯 | $C_2Cl_4$ | 165.85 | 1.613 | 121 | 不 | 不 | 无 |

### 3.3.6 有机溶剂脱脂时的注意事项有哪些？

1）部分有机溶剂有剧毒，因此进行脱脂操作时，应在良好的通风条件下进行，严禁在附近吸烟、进食，避免少量气体吸入人体后引起中毒。

2）当有机溶剂中油污混入量达到25%（体积分数）后，油污容易污染工件表面，应及时更新溶剂。

3）三氯乙烯受紫外线照射，会分解出具有强腐蚀性的氯化氢，特别在铝、镁的催化作用下，这种反应更剧烈。因此，进行有机溶剂脱脂时，应避免带水入槽和日光照射。

4）三氯乙烯要避免与氢氧化钠或水中pH值大于12的物质接触。因为氢氧化钠与三氯乙烯一起被加热时，会产生二氯乙炔，容易发生爆炸。

5）工件进行有机溶剂脱脂处理前要经过彻底干燥，禁止将水分带入有机溶剂；工件经过有机溶剂脱脂后，也要彻底干燥，再进行碱性化学脱脂或电化学脱脂，不要将有机溶剂带入后续工序。

6）严禁在脱脂设备附近出现火种及火情。

7）工件进出脱脂设备时，速度要缓慢，以免产生“活塞效应”，把三氯乙烯带出设备。进出槽速度一般不超过3m/min。

8）避免有机溶剂与皮肤接触，以免引起皮肤脱脂而燥裂。若必须接触，应穿工作服和戴防护手套。

### 3.3.7 化学脱脂的原理及分类是什么？

化学脱脂方法是利用热碱性溶液的皂化和乳化作用来除去具有皂化性的油脂，或者利用表面活性剂的乳化作用来除去非皂化性油脂。脱脂的方式有浸渍脱脂和喷淋脱脂两种。化学脱脂的方法分为碱性脱脂、酸性脱脂、乳化液脱脂三种。

（1）碱性脱脂　包括对各种油类的乳化作用和对少数作用的皂化作用。

（2）酸性脱脂　酸性脱脂法使用的酸性脱脂液是由有机或无机酸加表面活性剂混合配制而成。酸性脱脂方法只适用于有少量油污的金属制品。

（3）乳化剂脱脂　即利用乳化剂（表面活性剂）使得油和水发生乳化作用形成稳定的乳浊液的方法。乳化剂由多种表面活性剂和消泡剂、防锈剂等组成。

### 3.3.8 碱性脱脂时常用的清洗用碱有哪些？

常用的清洗用碱根据其种类和性质可分为四类：

1）氢氧化钠，俗称苛性钠、烧碱、火碱，为强碱化合物，脱脂效果最好，不能用于铝、锌等有色金属的表面清洗，对皮肤和织物等有强烈的腐蚀作用，使用时应注意安全。

2）碳酸钠，俗称纯碱、苏打粉，为中碱性化合物，具有缓冲和水质软化作用，可以用于有色金属表面的清洗。

3）磷酸盐类，如磷酸氢钠等，为弱碱性化合物，具有优良的浸透、湿润和络合性能，对洗出的污物有较好的分散和保持作用，适用于硬水环境，是金属良好的缓蚀剂。

4）硅酸盐类，如偏硅酸钠等，为弱碱性化合物，具有优良的浸透、湿润性能，对金属具有缓蚀作用，对洗出的污物有很好的分散和保持作用，常与苛性钠并用。

实际使用时，受化合物固有特性的影响，用单一碱清洗效果不理想，通常用几种碱搭配，再加上表面活性剂等配制成碱液。

常用的脱脂碱液的配比见表 3-18。

**表 3-18　常用的脱脂碱液的配比（质量分数,%）**

| 原材料 | 钢铁表面 | | 铝表面 | | 锌表面 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 浸泡法 | 喷射法 | 浸泡法 | 喷射法 | 浸泡法 | 喷射法 |
| 氢氧化钠 | 38 | 50 | | | | |
| 无水碳酸钠 | 36 | 17 | 55 | 18 | 10 | 20 |
| 无水偏硅酸钠 | 12 | | 37 | | 15 | 10 |
| 含水偏硅酸钠 | | | | 60 | | |
| 焦磷酸四钠 | 9 | 20 | | 20 | 20 | 65 |
| 三聚磷酸钠 | | | | | 50 | |
| 磷酸三钠 | | 10 | | | | |
| 脂肪酸钠盐 | 3 | 0.6 | 1 | | | |
| 乙氧基化烷基酚 | 2 | 0.2 | | | | |
| 乙氧基化醇 | | 2 | | 2 | 5 | |
| 烷基苯磺酸钠 | | | 5 | | | 1 |
| 苯磺酸盐 | | 0.2 | 2 | | | |

### 3.3.9　碱液脱脂时的常用方法有哪些?

碱液脱脂，可以通过多种方法来实现，最常用的方法是浸渍清洗法和喷射清洗法。各种清洗方法的适用范围及其特性的比较见表 3-19。

**表 3-19　碱液清洗方法的比较**

| 方法 | 适用范围 | 特点 |
|---|---|---|
| 手工清洗 | 适用于小批量或尺寸很大、形状很复杂的工件 | 方法简便灵活,不受条件限制。碱液浓度和操作温度都不可过高。应注意防止碱液伤害皮肤和眼角膜 |
| 浸渍清洗 | 适用于外形复杂,具有封闭内腔的中、小工件 | 可用高碱度溶液。不易形成泡沫,故允许含较多的表面活性剂。设备结构简单,维修方便。处理时间要求较长,温度也较高 |

（续）

| 方　　法 | 适 用 范 围 | 特　　点 |
|---|---|---|
| 喷射清洗 | 适用于大批量生产。不适于清洗具有封闭内腔或形状很复杂的工件 | 有强烈的机械作用，清洗效果好。溶液浓度和处理温度可以较低。处理时间短，生产效率高。进行磷化处理时，可获得较细致的结晶膜。易产生泡沫，需使用低泡沫表面活性剂。设备较复杂，维修较困难 |
| 滚筒清洗 | 适用于大量的小的或轻的工件或空心件。不适于太薄的和可套合在一起的工件或表面忌划伤而又带有夹角、锐边的工件 | 可用低浓度的碱液。要求溶液不易产生泡沫。碱液清洗后可以在滚筒中进行水洗 |
| 电解清洗 | 适用于各种形状及大小的工件 | 可用普通电解槽，在高浓度碱液和在高温下进行清洗。采用周期换向清洗可以加速清洗过程。清洗质量高 |
| 超声波清洗 | 适用于有狭缝、盲孔、细螺纹等复杂形状的工件，包括压铸件、精加工件 | 可除去难溶的油污，如抛光、研磨膏、钎焊剂、蜡类、指纹及金属碎屑等。清洗速度快、效果好。设备费用较高 |

### 3.3.10　碱液脱脂时影响脱脂效果的工艺因素有哪些?

（1）碱液的浓度　碱液的浓度越高，越有利于皂化反应进程，使油污与溶液之间的表面张力降低，易于脱脂。

（2）脱脂温度　总的来说，提高脱脂温度，有利于皂化反应的进行，可使熔点较高的油污软化，还有利于浸润和乳化作用，因此，可提高脱脂效率，加快脱脂速度。

（3）机械作用　机械作用有助于油污的去除，可使被涂物表面与脱脂液不断更新，加速油脂的皂化和乳化进程，能提高脱脂效果。

（4）脱脂时间　一般来说，温度越高，油污越轻，脱脂时间越短；延长脱脂时间，可提高脱脂效果。但脱脂时间过长，碱性药品易被金属工件的微孔吸收，并使工件表面受到轻度腐蚀和钝化，给水洗等步骤带来困难。

### 3.3.11　常用酸性脱脂的工艺是什么?

酸性脱脂只用于有少量油污的金属制品。常用的酸性脱脂方法的工艺见表3-20。

**表3-20　常用的酸性脱脂方法的工艺**

| 工 艺 条 件 | 质量浓度 $\rho_B$（除注明者外）/（g/L） | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 配方1 | 配方2 | 配方3 | 配方4 | 配方5 | 配方6 | 配方7 |
| 硫酸（ρ1.84g/mL） | 256 | 80～135 | | | 35～45 | 100 | 300 |
| 盐酸（ρ1.19g/mL） | | | 185mL/L | 800～900mL/L | 950～960mL/L | | |
| 重铬酸钾 | | | | | | | 15 |
| 硫脲 | | 1～2 | | 10 | | | |
| 烷基磺酸钠 | | | | 48～49 | | | |
| OP-10乳化剂 | 9.2 | | 5～7.5 | | 1～2 | 25 | 8 |

（续）

| 工艺条件 | 质量浓度 $\rho_B$（除注明者外）/（g/L） | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 配方 1 | 配方 2 | 配方 3 | 配方 4 | 配方 5 | 配方 6 | 配方 7 |
| 平平加乳化剂 | | 15～25mL/L | | | | | |
| 若丁 | 5 | | | | | | |
| 六亚甲基四胺 | | | 5 | | 3～5 | | |
| 自来水 | | | | | | | 20mL/L |
| 温度/℃ | 60～65 | 70～85 | 50～60 | 室温 | 80～95 | 室温 | 室温 |

注：配方 6 为铜及铜合金除油工艺。配方 3、4 为黑色金属（氧化皮疏松）除油工艺。配方 1、2、5 为黑色金属除油工艺。

### 3.3.12　乳化脱脂时溶剂乳化清洗方法有哪些？

钢铁材料采用乳化脱脂时，溶剂乳化清洗方法主要有浸渍法和喷射法两种。

1）浸渍法是溶剂乳化清洗最常用的方法，只要有足够大的容器和足够量的清洗剂就能实施清洗。由于此法可以使用较高浓度清洗剂，并使被清洗工件充分暴露在清洗剂中，因而清洗效果好。且浸渍法对工件尺寸、形状的限制小，适应性较强。

2）喷射法的优点是对被清洗工件表面提供机械撞击力、连续冲洗，且由于清洗溶液循环过滤使得工件表面无污物沉积。其主要缺点是有更多的有机溶剂挥发在空气中，因而要求比使用浸渍法更有效的通风装置。按照其操作方式有手工喷射和机械喷射两种。

### 3.3.13　表面活性剂的 *HLB* 值是什么？

金属清洗多采用阴离子和非离子型的表面活性剂。表面活性剂的性能与其亲水和亲油基团的平衡值（*HLB*）有关。亲水性最高为 20，最低为 0。*HLB* 的大小决定表面活性剂的用途，表面活性剂 *HLB* 值与其所起作用的关系见表 3-21，表面活性剂的 *HLB* 值与其在水中溶解性的关系见表 3-22。

**表 3-21　表面活性剂 *HLB* 值与其所起作用的关系**

| *HLB* 值 | 所起作用 | *HLB* 值 | 所起作用 |
|---|---|---|---|
| 15～18 | 溶化 | 7～9 | 湿润 |
| 13～15 | 洗净 | 3.5～6 | 乳化（油中水型 W/O） |
| 8～18 | 乳化（水中油型 O/W） | 1.5～3 | 消泡 |

**表 3-22　表面活性剂的 *HLB* 值与其在水中的溶解性的关系**

| 表面活性剂在水中的溶解性 | 对应的 *HLB* 值 | 表面活性剂在水中的溶解性 | 对应的 *HLB* 值 |
|---|---|---|---|
| 不分散 | 1～4 | 稳定乳白色分散体 | 8～10 |
| 分散不好 | 3～6 | 半透明分散体 | 10～13 |
| 激烈震荡后成乳白色分散体 | 6～8 | 透明溶液 | >13 |

### 3.3.14　常用金属清洗剂有哪些？

常用金属清洗剂的配方及适用范围见表 3-23。

**表 3-23　常用金属清洗剂配方和适用范围**

| 清洗剂种类 | 主要成分/(g/L) | 使用温度/℃ | 应用范围 |
|---|---|---|---|
| LT-83 清洗剂 | 氢氧化钠 20～30；碳酸钠 15～30；焦磷酸钠 15～25；LT-83 10～30 | 20～100 | 钢铁除油 |
| | 碳酸钠 20～40；碳酸氢钠 15～30；焦磷酸钠 20～40；LT-83 20～40 | 20～100 | 铜、铝除油 |
| 83-1 常温除油剂 | 83-1 除油剂 0.5～1mL/L 或 1～2mL/L(油污严重时) | 室温 | 金属除油、滚光 |
| | 硫酸 200～250mL/L；831-1 除油剂 2～5mL/L | 30～40 | 金属除油除锈 |
| | 磷酸钠 50；831-1 除油剂 3～5mL/L | 室温 | 铝除油 |
| YB-5 高效常温除油剂 | 10% 水溶液 | 常温 | 各种金属除油 |
| W 去油剂 | 4% 水溶液 | 室温 | 金属、塑料除油、粗化 |
| TJ30-1 常温多效金属清洗剂 | 3% 水溶液 | 常温 | 各种金属、塑料、陶瓷除油 |
| 32-1 低泡金属净化剂 | 3%～5% 水溶液 | 常温～80 | 金属除油 |
| GX-1 高效清洗剂 | 5% 水溶液 | | 各种金属、塑料、陶瓷除油 |
| LCX-52 常温除油水基清洗剂 | 1%～3% 水溶液 | 15～40 | 各种金属、塑料、陶瓷除油 |
| SL-1 高效粉状清洗剂 | 3%～5% 水溶液 | 40～70 | 各种金属除油 |
| HY-20 常温除油水基清洗剂 | 1%～3% 水溶液 | 15～40 | 各种金属除油 |
| CK-S01 常温除油剂 | 40%～45% 水溶液 | 20～25；pH = 9 | 铝除油 |
| CK-S02 常温除油剂 | 40%～50% 水溶液 | 20～35；pH = 12 | 钢铁除油 |
| 825 常温金属除油清洗剂 | 6% 水溶液 | 室温 | 钢铁清洗 |
| 826 常温金属除油清洗剂 | 4%～5% 水溶液 | 室温 | 有色金属清洗 |
| D-1，D-2 金属清洗剂 | 3%～5% 水溶液 | 钢铁除油 | 钢铁除油 |
| D-3 金属清洗剂 | 3%～5% 水溶液 | 钢铁除油 | 有色金属除油 |
| TS-A 金属清洗剂 | 3%～5% 水溶液 | 钢铁除油 | 钢铁除油 |
| TS-B 金属清洗剂 | 3%～5% 水溶液 | 钢铁除油 | 有色金属除油 |

### 3.3.15　什么是电化学脱脂?

电化学脱脂是将零件挂在碱性电解液的阴极或阳极上，在直流电的作用下将工件表面的油脂除去的方法，是车间常用的脱脂方法。电化学脱脂方法有阴极脱脂法、阳极脱脂法和阴阳极联合脱脂法等。

### 3.3.16　电化学脱脂中脱脂液的工艺条件和浓度是多少?

采用电化学脱脂方法时，电化学脱脂液的工艺见表 3-24。

**表 3-24　电化学脱脂液的工艺条件和浓度**

| 工艺条件 | 质量浓度 $\rho_B$/(g/L) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 配方 1 | 配方 2 | 配方 3 | 配方 4 | 配方 5 | 配方 6 |
| NaOH | 40～60 | 10～20 | 10～20 | 20～30 | 10～30 | 7.5～15 |
| $Na_2CO_3$ | ≤60 | 20～30 | 50～60 | 10～20 | | 30～45 |
| $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ | 15～30 | 20～30 | 30～40 | 30～50 | | 15～30 |
| $Na_2SiO_3$ | 3～5 | | 5～10 | | 30～50 | |
| 表面活性剂 | | | | 1～2 | | 1～2 |
| 温度/℃ | 70～80 | 70～80 | 60～80 | 60 | 80 | 90 |
| 电流密度/(A/dm²) | 2～5 | 5～10 | 5～10 | 10 | 10 | 10 |
| 阴极除油时间 t/min | | 5～10 | 1 | 1～2 | 1 | 1～2 |
| 阳极除油时间 t/min | 5～10 | 0.2～0.5 | 15s | | 0.2～0.5 | |
| 说明 | | | 交替法 | 交替法 | 交替法 | 交替法 |

| 工艺条件 | 质量浓度 $\rho_B$/(g/L) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 配方 7 | 配方 8 | 配方 9 | 配方 10 | 配方 11 | 配方 12 | 配方 13 |
| NaOH | 10～15 | | 10～20 | 5～10 | | 0～5 | |
| $Na_2CO_3$ | 20～30 | 20～40 | 20～30 | 10～20 | 5～10 | 0～20 | 25～30 |
| $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ | 50～70 | 20～40 | | | 10～20 | 20～30 | 25～30 |
| $Na_2SiO_3$ | 10～15 | 3～5 | 5～10 | 20～30 | 5～10 | | |
| 三聚磷酸钠 | | | | | | | |
| 表面活性剂 | | | | 1～2 | | 稍多 | |
| 温度/℃ | 70～90 | 70～80 | 50～80 | 60 | 40～50 | 40～70 | 70～80 |
| 电流密度/(A/dm²) | 3～8 | 2～8 | 6～12 | 5～10 | 5～7 | 5～10 | 2～5 |
| 阴极脱脂时间 t/min | 5～8 | 1～3 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.4～1 | 1～3 |
| 阳极脱脂时间 t/min | 0.3～0.5 | 0.5 | | | | | |
| 说明 | 交替法 | 阴极 | 阴极 | 阴极 | 阴极 | | |

注：配方 1～6 为钢铁脱脂工艺，其中配方 1 用于一般钢铁高强度抗件，配方 2 为形状复杂的非抗力件脱脂工艺；配方 7～10 为铜及铜合金脱脂工艺；配方 11、12 为锌及锌合金脱脂工艺，其中配方 12 加入适量缓蚀剂；配方 13 为铝、镁及其合金脱脂工艺。

在电化学脱脂液中，氢氧化钠主要起导电作用。在工艺范围内，提高其浓度可以提高电流密度，加快脱脂速度，提高脱脂效率。脱脂液要求一定的温度是为了皂化作用和增加溶液的导电能力。提高脱脂液的电流密度，可以一定程度的提高脱脂速度，并改善深孔的脱脂质量。

### 3.3.17 滚筒脱脂的工作原理是什么?

滚筒脱脂是一种机械化的擦拭脱脂方法，滚筒脱脂方法采用的碱液为化学脱脂溶液。滚筒脱脂的主要工作内容如下：将待脱脂的工件和木皂角及弱碱性溶液等一同放入筒内，加盖密封，在 60 ~ 100r/min 的转速下，进行脱脂。滚筒脱脂的方法不适用于易变形的薄片零件，有外螺纹的、精密度高的零件。

### 3.3.18 超声波脱脂的工作原理是什么?

将粘附油污的工件或制品放在脱脂液中，通过超声波发生器并以一定频率（频率一般为 30kHz 左右）的超声波辐照进行脱脂的过程，叫做超声波脱脂。

超声波脱脂可应用于有机溶剂脱脂、化学脱脂和电化学脱脂过程中。脱脂过程中的化学及物理化学作用主要是靠脱脂溶液本身的性质，但超声波的引入能大大加强这些过程的作用，从而可以提高其脱脂的效率和能力。

超声波强化脱脂对于形状复杂件、多孔隙的铸件、压铸件、小零件及经抛光附有抛光膏油脂的制件，脱脂效果远优于一般脱脂方法。

### 3.3.19 用于脱脂的油水分离装置有哪些?

采用适当的装置和方式，连续或间隙除去脱脂液中油污，可以提高脱脂液的脱脂效果。

（1）热油分离器　其使用方法为将含油脱脂液送入热油分离器进行加热，使表面活性剂与油污分离，并使油漂浮到液面，经置于表面的吸油口收集送至贮油槽。而脱脂后的工作液经液位表面下的挡板，除去较重一些的沉淀物，返回脱脂工作槽。热油分离器的结构如图 3-13 所示。

（2）吸附法脱脂装置　该装置是利用亲油不亲水材料的特性，通过这些材料不断与含油脂的脱脂液接触，捕捉吸附其中的油污。其工作原理为转动装置带动吸油滤带以特定的转速在辅槽内不停地旋转，将吸附的油污经挤油口挤至贮油桶内。吸附法净化脱脂装置结构如图 3-14 所示。

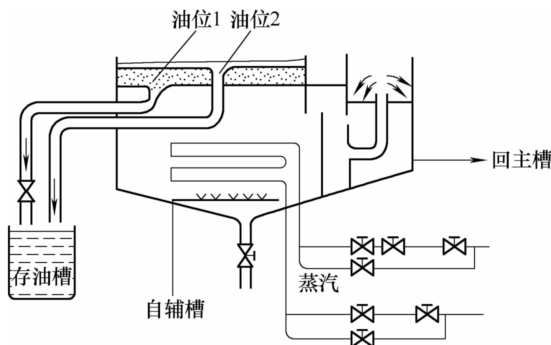



图 3-13　热油分离器的结构

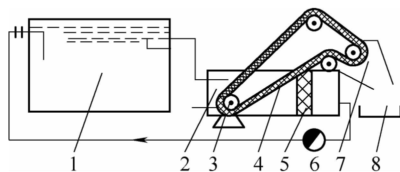



图 3-14　吸附法净化脱脂装置结构

1—脱脂槽　2—辅槽　3—转动装置

4—吸油履带　5—隔室过滤板　6—泵

7—挤油口　8—贮油桶

（3）超滤法脱脂　该装置是将预滤器和超滤器串联到脱脂液的循环管路上，利用超滤膜的分离作用对含油脱脂液进行净化，即将含油脱脂液浓缩，不含油的滤液返回工作槽中。

（4）离心分离器脱油　利用油水密度的不同，采用离心分离将油脱出。

无论采用哪一种方法，都应先用简单的机械方式除去堆积和硬质的大量油污，可以起到加速脱脂速度、节约清洗药剂、提高处理质量的效果。

脱脂的工艺过程一般包括：机械清理→脱脂→水洗→干燥四个过程。

### 3.3.20　脱脂处理中碱液的作用是什么？

有些金属（尤其是有色金属）在强碱条件下会产生腐蚀，实际使用时，应注意碱液的 pH 值，各种金属耐碱性的极限值见表 3-25。

**表 3-25　各种金属耐碱性的极限 pH 值**

| 金　　属 | 极　限　值 | 金　　属 | 极　限　值 | 金　　属 | 极　限　值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 锌 | 10 | 锡 | 11 | 硅铁 | 13 |
| 铝 | 10 | 黄铜 | 11.5 | 钢铁 | 无极限 |

注：其中钢铁无极限 pH 值是在一定范围内的。在热的高浓度苛性钠中，钢铁也会产生腐蚀。

同时，各种碱在不同浓度下的碱性 pH 值见表 3-26，参照此表格可以防止因操作不慎引起不必要的损失。

**表 3-26　不同浓度清洗用碱溶液的 pH 值**

| 碱名称 \ 浓度 | 0.1% | 0.5% | 1% |
|---|---|---|---|
| 苛性钠（NaOH） | 12.0 | 12.7 | 13.1 |
| 原硅酸钠（$Na_4SiO_4 \cdot 5H_2O$） | 11.8 | 12.6 | 12.8 |
| 倍半硅酸钠 | 11.6 | 12.3 | |
| 偏硅酸钠（$Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$） | 11.3 | 12.0 | 12.4 |
| 磷酸三钠（$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$） | 11.5 | 11.8 | 12.0 |
| 苏打（$Na_2CO_3$） | 10.7 | 11.3 | 11.2 |
| 焦磷酸四钠（$Na_4P_2O_7$） | 10.0 | 10.1 | 10.25 |
| 碳酸三钠（$NaHCO_2Na_2CO_3 \cdot 2H_2O$） | 9.6 | 9.7 | 9.8 |
| 三聚磷酸钠（$Na_5P_3O_{10}$） | 9.1 | 9.0 | 9.7 |
| 四磷酸钠（$Na_6P_4O_{13}$） | 8.5 | 8.4 | 8.4 |
| 硼砂（$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$） | 8.5 | 8.7 | 9.1 |
| 碳酸氢钠（$NaHCO_3$） | 8.0 | 8.2 | 8.4 |
| 偏磷酸钠（$NaPO_3$） | 6.5 | 6.2 | 7.0 |

### 3.3.21　脱脂过程中常见问题及解决方法有哪些？

脱脂中常见问题及解决方法见表 3-27。

**表 3-27 脱脂中常见问题及解决方法**

| 问　　题 | 出 现 原 因 | 解 决 方 法 |
|---|---|---|
| 脱脂效果不佳 | 1. 脱脂剂选择不当 | 根据油污情况,更换脱脂剂;如带动植物油的工件,选择强碱性脱脂剂;带矿物油的工件,选择表面活性剂乳化型脱脂剂;带半固态油脂的工件,选择溶剂性脱脂剂等 |
| | 2. 脱脂工艺选择不当 | 采用二次脱脂工艺,为确保脱脂效果,可多级脱脂,多级清洗 |
| | 3. 表面油污过厚,脱脂不均匀 | 一般要先进行手工预擦洗,先除去工件上严重的油污、灰尘、泥沙等 |
| | 4. 脱脂时间过短 | 延长脱脂时间 |
| | 5. 脱脂温度偏低 | 提高脱脂温度 |
| | 6. 脱脂剂浓度偏低 | 按照使用要求提高浓度至工艺范围 |
| | 7. 机械作用不够 | ①提高喷射压力<br>②浸渍槽装备循环泵,循环量为每小时槽液容积的 5 倍<br>③加大工件的搅动或摇动 |
| | 8. 喷嘴堵塞,流量不足 | 定期清理喷嘴 |
| | 9. 工作液中含油量太高 | 定期更换槽液,采用二槽或多槽清洗 |
| | 10. 脱脂后水洗不彻底 | 加强水洗,水洗水要连续溢流 |
| 工作液泡沫高 | 1. 温度过低 | 提高温度至规定范围 |
| | 2. 循环泵密封处磨损而进空气 | 更换泵的密封材料,最好选用立式泵 |
| | 3. 脱脂剂选择不当 | 更换脱脂剂,选用低泡或无泡型新型脱脂剂 |
| | 4. 喷射压力过高 | 降低喷射压力,调整喷嘴位置等 |
| | 5. 没采用消泡工艺 | 采用消泡剂,如醇类、硅油类、聚醚类等 |
| 水洗槽泡沫过多 | 1. 水洗槽溢流量太小 | 加大溢流水量 |
| | 2. 循环泵密封处磨损而进空气 | 更换泵的密封材料,最好选用立式泵 |
| | 3. 槽液使用时间过长 | 定期更换槽液 |
| 水洗槽碱度过高 | 1. 碱槽向水洗槽窜溶液 | 改造设备,避免窜液 |
| | 2. 零件带太多的碱液进入水洗槽 | 改变装挂形式,延长滴液时间 |
| | 3. 水洗槽的溢流量太小 | 加大溢流量 |
| | 4. 槽液使用时间长 | 定期更换槽液 |
| 零件水洗后生锈 | 1. 工序间隔时间过长 | 工序间增加喷湿 |
| | 2. 零件在水洗段时间过长 | 零件不允许在此长时间停留<br>加缓蚀剂,如 0.05%(质量分数)重铬酸钠等 |

### 3.3.22　怎样进行钢材表面油脂清洁度的评定?

(1) 硫酸铜法　可分为点滴法和浸渍法两种：①点滴法适用于大工件和现场的评定，其主要操作方法是将硫酸铜混合液（0.25mol/L 的 $CuSO_4$ 40mL、10% NaCl 120mL、0.1mol/L 的盐酸 0.8mL）滴在被测表面有代表性的 10 个点上，若液滴 5s 内出现粉红色铜斑，说明没有油污，反之有残留油污，说明脱脂不彻底；②浸渍法适用于小工件的评定，将其放入酸性硫酸铜溶液中，1min 后取出冲洗，若置换出的铜膜完整均匀、光泽和结合力好，说明脱脂彻底，反之表明还存在油污。

(2) 表面张力（自由能）测试法　其主要方法是以水的表面张力为典型清洁度，配有 11 种不同表面张力为 25 ~ 100dyn/cm 的标准液，将标准液滴在被测表面，若滴液成珠状，再使用下一号标准液，当某一标准液正好湿润表面（均匀铺展）时，即为测试结果。

(3) 验油试纸法　实际操作时，将 0.1mL 由金属硫酸盐和有机酸组成的浅蓝色透明极性溶液用玻璃棒均匀摊布在水平钢材表面上（直立表面用 0.5mL），覆盖面积不小于 20mm × 40mm，然后将 A 型验油纸紧贴在溶液膜上，1min 后观察验油纸的状态。若极性溶液完全与验油纸接触，会出现连片完整的红色，表明油污已清除干净。若出现点状或斑块稀疏，则表明油污未清理干净。该方法操作简单、灵敏，可用于钢、铜、铝等金属表面的清洁度评定。

(4) 油渍法　其主要操作内容是将脱脂剂滴在被测表面，蒸发干后，若无痕迹，说明没有油污，若有圆环，说明油污没有除尽。

(5) 水湿润法　其主要操作内容是将工件浸入水中，并使之移出水面 45°倾斜，观察水膜的状态。若水膜完整，说明无油污，若存在水珠或无水膜情况，说明存在油污。

(6) 擦拭法　其主要操作内容是用白绸布或滤纸擦拭表面，若白绸布或滤纸洁白无污，说明脱脂效果好，反之说明脱脂效果不良。

(7) 滑石粉法　其主要内容是将被测金属垂直放入表面洒有滑石粉的水中，再垂直地取出，洁净的表面均匀粘有滑石粉，有油污的地方则没有滑石粉。

(8) 喷射图案法　其主要内容是用喷枪喷洒含有 0.1%（质量分数）染料的蒸馏水于已事先浸湿的表面，有油污的地方，不会显示颜色。

(9) 呼气法　其主要内容是向金属表面呼气（或用雾化器），清洁的表面有均匀的雾水，而有油的地方没有雾水。

在上述测试方法中，验油试纸法是最标准的方法，但试剂和试纸采购有困难；硫酸铜法和表面张力测试法为半定量测试方法，可以自己配置所用溶液；油渍法和擦拭法为定性试验方法，不太准确；水湿润法、呼气法和喷射图案法三种方法最简单易行，但需注意，当表面存在 NaOH 或表面活性剂时，会影响观察结果，出现判断失误。由于其评定方法很多，在使用时应根据实际情况合理选择。

## 3.4　磷化

### 3.4.1　什么是磷化处理?

金属（主要指钢铁）经含有锌、锰、铬、铁等磷酸盐的溶液处理后，由于金属和

溶液的界面上发生化学反应，生成主要为不溶或难溶于水的磷酸盐，使金属表面形成一层附着良好的保护膜，此过程称为磷化。

### 3.4.2　磷化处理有什么作用?

磷酸盐转化膜应用于铁、铝、锌、镉及其合金上，既可当做最终精饰层，也可作为其他覆盖层的中间层，其作用主要有以下方面。

（1）提高耐蚀性　磷化膜虽然薄，但由于它是一层非金属的不导电隔离层，能使金属工件表面的优良导体转变为不良导体，抑制金属工件表面微电池的形成，进而有效阻止涂膜的腐蚀。

（2）提高基体与涂层间或其他有机精饰层间的附着力　一方面，磷化膜与金属工件是一个结合紧密的整体结构。例如，锌系磷化，开始形成的是磷酸铁和黑色氧化铁，在其上再成长为磷酸锌，即在工件上直接生成磷化膜，其间没有明显界限。另一方面，磷化膜具有的多孔性，使涂料可以渗透到这些孔隙之中，涂料与磷化膜紧密结合，附着力提高。

（3）提供清洁表面　磷化膜只有在无油污和无锈层的金属工件表面才能生长，因此，经过磷化处理的金属工件，可以提供清洁、均匀、无油脂和无锈蚀的表面。

（4）改善材料的冷加工性能　如拉丝、拉管、挤压性能等。

（5）改进表面摩擦性能　以促进其滑动。

### 3.4.3　磷化膜怎样进行分类及其各自特征是什么?

可把磷化分为锌系、锌钙系、锌锰系、锰系、铁系、非晶相铁系六大类。各种磷化膜的分类及特点见表3-28。

**表3-28　磷化膜分类及特点**

| 磷化膜类别 | 磷化膜基本成分 | 铁基体单位面积膜层质量/($g/m^2$) | 结晶类型 |
|---|---|---|---|
| 锌系 | $Zn_2Fe(PO_4)\cdot 4H_2O$<br>$Zn_3(PO_4)_2\cdot 4H_2O$ | 1~40 | 定型晶结构,树枝状、针状、空隙较多 |
| 锌钙系 | $Zn_2Ca(PO_4)_2\cdot 4H_2O$<br>$Zn_2Fe(PO_4)_2\cdot 4H_2O$<br>$Zn_3(PO_4)_2\cdot 4H_2O$ | 1~15 | 紧密颗粒状,有时有大的针状颗粒,空隙较少 |
| 锌锰系 | $Zn_2Fe(PO_4)_2\cdot 4H_2O$<br>$Zn_3(PO_4)_2\cdot 4H_2O$<br>$(Mn,Fe)_5H_2(PO_4)_4\cdot 4H_2O$ | 1~40 | 颗粒-树枝-针状混合晶型,空隙较少 |
| 锰系 | $(Mn,Fe)_5H_2(PO_4)_4\cdot 4H_2O$<br>$Mn_3(PO_4)_2\cdot 3H_2O$<br>酸式磷酸铁锰 | 1~40 | 密集颗粒状,空隙少 |
| 铁系 | $Fe_5H_2(PO_4)_4\cdot 4H_2O$ | 5~20 | 颗粒状,空隙较多 |
| 非晶相铁系 | $Fe_3(PO_4)_2\cdot 8H_2O$<br>$Fe_2O_3$<br>$FePO_4$ | 0.1~1.5 | 膜薄,结构呈非晶相平面分布 |

### 3.4.4　磷化膜的分类、缩写符号及有关特征是什么?

磷化膜的分类、缩写符号及有关特征见表3-29。

**表3-29　磷化膜的分类、缩写符号及有关特征**

| 分　类 | 缩写符号① | 磷化槽液成分 | 不同基体材料上单位面积膜层质量/($g/m^2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 铁 | 铝 | 锌 | 镉 |
| 锌系 | Znph | $Zn^{2+}$, $PO_4^{3-}$ | 1~40 | 0.3~10 | 1~40 | 1~20 |
| 锌钙系 | ZnCaph | $Zn^{2+}$, $Ca^{2+}$, $PO_4^{3-}$ | 1~15 | — | 1~10 | — |
| 锌锰系 | ZnMnph | $Zn^{2+}$, $Mn^{2+}$, $PO_4^{3-}$ | 1~40 | — | 1~10 | — |
| 锰系 | Mnph | $Mn^{2+}$, $PO_4^{3-}$ | 1~40 | — | — | — |
| 铁系 | Fehph | $Fe^{2+}$, $PO_4^{3-}$ | 5~20 | — | — | — |
| 非晶相铁系 | Feph | $Me^{2+}$②, $PO_4^{3-}$ | 0.1~1.5 | <0.3 | 0.1~2 | — |

注：①为当基体为钢铁时的缩写符号，基体为其他金属时，缩写符号由供需双方协商决定。

②Me表示碱金属离子或$NH_4^+$。

### 3.4.5　磷化膜具有怎样的特性?

（1）多孔性　磷化膜具有多孔性的主要原因是磷化膜通常由许多大小相差悬殊的结晶组成，这些结晶从晶棱散布开来，然后连接在一起，逐步覆盖整个工件的磷化表面。磷化膜的空隙率由许多因素确定，一般占磷化表面积的0.5%~1.5%。一般磷化膜越厚，空隙率越低；结晶的细度越细密，空隙率越小；磷化膜质量增大，空隙率减少；但空隙率还与磷化膜的化学成分等有关系。

（2）膜重　磷化膜的厚度一般为1~50μm，对于涂装预处理的磷化膜膜重一般用每单位面积的质量来表示，单位为$g/m^2$。膜重与磷化膜的用途有极大的关系，涂装前磷化膜的膜重要求小于$10g/m^2$，一般在$1\sim4g/m^2$。

（3）耐蚀性　磷化膜可为基体提供重要的防护作用，可防止腐蚀介质对金属工件的侵蚀。这是因为磷化膜具有不良导体性质，可以抑制金属工件表面微电池的形式，有效阻止腐蚀。但由于磷化膜是多孔的，所以单纯磷化膜的耐蚀性是有限的。

（4）与金属工件的结合力　磷化膜与金属工件的结合力，决定于磷化膜在晶界的生根情况，也取决于最佳定向结晶的百分数。

（5）与涂膜的结合力　磷化膜能为涂膜创造良好的底层，由于是多孔性的膜体表面，涂料可渗入其中，增加金属工件的表面积，同时涂料形成的涂膜和磷化膜可以相互渗透，提高涂层的结合力。

（6）绝缘性能　磷化膜是非金属涂层，是电的不良导体，它能使金属工件表面由优良导体转变为不良导体。

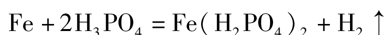
### 3.4.6　磷化处理的基本原理是什么?

磷化处理材料的主要组成为酸式磷酸盐，其分子式为$Me(H_2PO_4)_2$，Me通常可以为锌、锰、铁等。这些酸式磷酸盐能溶于水，在含有氧化剂、催化剂的情况下，酸式磷酸盐的水溶液与洁净的金属表面相接触时，酸式磷酸盐分解，产生游离磷酸：



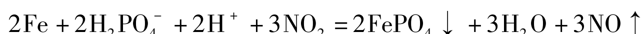
$$3Me(H_2PO_4)_2 = Me_3(PO_4)_2 + 4H_3PO_4$$

游离磷酸把被磷化金属（以钢铁为例）表面的铁溶解下来，并放出氢气，这使金属与磷化液相接触的界面处酸度下降。



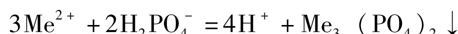
$$Fe + 2H_3PO_4 = Fe(H_2PO_4)_2 + H_2\uparrow$$

反应所释放出来的氢气被吸附在待磷化金属的表面上，从而阻止了磷化膜结晶的形成。为加速磷化反应的速度，使磷化处理时间短，以满足工业生产的要求，在磷化处理溶液内加有氧化剂与催化剂（又称去极化剂）以除去氢气。现以亚硝酸钠作催化剂为例，亚硝酸盐分解产生的 $NO_2$ 可使氢气氧化生成水，在钢铁表面（被磷化的工件）溶解下来的亚铁离子被 $NO_2$ 氧化成三价铁离子（$FePO_4$），在磷化工作液的酸度下，它几乎完全不溶解，于是就成为淤渣沉淀下来。其反应式如下：



$$2Fe + 2H_2PO_4^- + 2H^+ + 3NO_2 = 2FePO_4\downarrow + 3H_2O + 3NO\uparrow$$

上述反应消耗氢离子，从而降低了酸度。在钢铁表面上氢离子的唯一来源是酸式磷酸盐，于是磷化膜就按下式沉积下来



$$3Me^{2+} + 2H_2PO_4^- = 4H^+ + Me_3(PO_4)_2\downarrow$$

将上述两个反应式结合起来，磷化过程的总反应方程式如下：



$$4Fe + 3Me^{2+} + 6H_2PO_4^- + 6NO_2 = 4FePO_4\downarrow + Me_3(PO_4)_2(\text{磷化膜}) + 6H_2O + 6NO\uparrow$$

实际的磷化反应远较上述复杂，因为有一些副反应生成。磷化淤渣的主要成分是 $FePO_4$，但其中也有少量的 $Me_3(PO_4)_2$。磷化膜的主要成分是 $Me_3(PO_4)_2$、$H_2O$，但也有磷酸铁与黑色的氧化铁。在铁盐磷化过程中，由于所采用的酸式碱金属磷酸盐都是水溶性的，不能存在于磷化膜中。碱金属的磷酸二氢盐溶液在氧化剂的存在下，例如空气中的氧，与钢铁表面产生下列反应。



$$4Fe + 4NaH_2PO_4 + 3O_2 = 2FePO_4\downarrow + Fe_2O_3 + 2Na_2HPO_4 + 3H_2O$$

### 3.4.7　磷化液的组成是什么？

磷化液由成膜物质、改性剂、促进剂、降渣剂及各种添加剂等组成，各自起着不同的作用。

（1）成膜物质　主要有磷酸、磷酸二氢锌和各种碱系磷酸盐和硝酸钙盐等，主要作用是：与铁反应生成磷化膜。

（2）改性剂　主要有可溶性的锌、锰、镍、钙盐，主要作用是：增加晶核，减少空隙，复合成型，提高耐蚀性等。

（3）促进剂　主要有硝酸盐、亚硝酸盐和过氧化物等，主要作用是：促进磷化膜生长，减少沉渣、改善外观等。

（4）降渣剂　有很多种材料可以起到降渣作用，主要有络合剂（如 EDTA）、防垢剂（如聚丙烯酸）和缓蚀剂，其主要作用是吸附铁，使磷化膜结晶致密，提高质量。

（5）其他添加剂　如酒石酸可以降低膜重，提高药液稳定性；氨基多酸可以增加膜重；多磷酸盐可以降低膜重，节约药剂，减少沉渣。

### 3.4.8　常用磷化液配方及工作条件是什么？

常用磷化液配方及工作条件见表 3-30。

表 3-30　常用磷化液配方及工作条件

| 序号 | 配方 | | 工作条件 | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 材料 | 使用量/(g/L) | 溶液温度/℃ | 处理时间/min | |
| 1 | 硝酸二氢锌<br>硝酸钠<br>水 | 30 ~ 40<br>40 ~ 80<br>余量 | 65 ~ 70 | 5 ~ 10 | 中温锌系 |
| 2 | 磷酸二氢锌<br>硝酸锌<br>水 | 40 ~ 45<br>120<br>余量 | 60 ~ 70 | 5 ~ 7 | 中温锌系 |
| 3 | 磷酸铁锰盐<br>(马日夫盐)<br>硝酸锌<br>水 | 30 ~ 35<br><br>55 ~ 65<br>余量 | 90 ~ 98 | 15 ~ 20 | 高温锰系 |
| 4 | 磷酸二氢锌<br>硝酸锌<br>亚硝酸钠<br>水 | 50 ~ 70<br>80 ~ 100<br>0.2 ~ 1<br>余量 | 20 ~ 35 | 20 ~ 40 | 低温锌系 |
| 5 | 磷酸铁锰盐<br>(马日夫盐)<br>硝酸锌<br>氟化钠 | 30 ~ 40<br><br>140 ~ 160<br>2 ~ 5 | 20 ~ 25 | 30 ~ 45 | 低温锰系 |

### 3.4.9　新型磷化溶液的发展趋势是什么?

磷化处理中，磷化液的组成和使用对磷化效果的影响较大。目前随着国内外环保形势的发展，新型磷化液的发展趋势如下：

(1) 低温型磷化液　这类磷化溶液主要指磷化温度在 35 ~ 55℃ 的低温磷化药剂和冬季也不需要加温的常温磷化药剂。

(2) 低污染、低毒性　这类磷化溶液要求不含或少含亚硝酸盐和重金属盐类，尤其是既无亚硝酸盐又无镍的磷化溶液。

(3) 长寿命、低成本　这类磷化溶液要求使用寿命长、单耗少，综合成本低。

(4) 能满足新型涂装方式　这类磷化溶液要求能满足阴极电泳、静电喷涂等新型涂装需求。

(5) 操作简便、管理简单　这类磷化溶液要求添加方便，所含组分少，管理容易。

在磷化处理中，已经很少单独使用单一金属盐的磷化液，常在金属表面形成复合型磷酸盐膜。在对金属工件表面进行磷化处理时，添加加速剂、调整 pH 值、时间的控制及表面封闭都是非常重要的。

### 3.4.10　磷化工艺流程是什么？

磷化处理一般工艺为：脱脂→热水洗→冷水洗→酸洗→冷水洗→磷化→冷水洗→钝化→冷水洗→去离子水洗→烘干。具体工艺流程的设定根据使用目的和磷化方法而不同见表 3-31。

**表 3-31　磷化工艺流程**

| 使用目的 | 工艺方法 | 膜厚 | 除油 | 热水洗 | 冷水洗 | 喷砂 | 酸洗 | 冷水洗 | 中和 | 冷水洗 | 磷化 | 冷水洗 | 钝化 | 冷水洗 | 干燥 | 补充处理 | 磷化设备 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 防蚀 | 浸泡 | 厚 | ✓ | ✓ | ✓ | | △ | △ | △ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | 加热钢槽侧面抽风 |
| | | | | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 耐磨 | 浸泡 | 厚 | ✓ | ✓ | ✓ | | △ | △ | △ | ✓ | ✓ | ✓ | △ | △ | ✓ | ✓ | 加热钢槽侧面抽风 |
| | | | | | | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | △ | △ | ✓ | ✓ | |
| 涂料底层或工序间防蚀 | 涂刷 | 薄 | | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | 刷子 |
| 涂料底层或冷变形加工 | 浸泡 | 薄或中等 | ✓ | ✓ | ✓ | | △ | △ | △ | △ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | 加热钢槽 |
| | | | | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | |
| 冷变形加工 | 喷淋 | 中等 | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | 钢槽、泵管、喷嘴 |

注：✓—需要；△—选用。

### 3.4.11　磷化处理有何要求？

1）为了获得质量更好更均匀致密的磷化膜，可以采用表面调整的方法，有轻度喷砂和抛丸等机械处理，酸洗和能产生表面吸附作用的表面调整剂。

2）由于磷化膜薄且多孔，耐蚀性有限，所以在磷化处理后，通常进行钝化，常用的方法是在空气中进行氧化，质量更好的方法是用铬酸盐进行浸泡处理。

3）磷化后水洗的目的是去掉磷化膜表面吸附的可溶性盐，防止涂膜起泡。注意要用干净的水进行多次冲洗，尤其是最后一道冲洗必须用去离子水。

4）水洗后干燥可尽快去除磷化膜中的结晶水，为下道涂装做好准备。最好采用烘干的方式，对于结构简单、要求不严的工件也可采用简单的自然干燥。

### 3.4.12　磷化操作方法有哪些？

1）磷化前工件表面的质量对磷化质量影响很大，要除掉油污、氧化皮、铁锈、残酸、残碱等，以免影响磷化膜的厚度和致密度，从而影响耐蚀性。因此，通常采用强酸强碱处理、喷砂、喷丸处理等方法使表面无油污、无锈蚀，表面状况良好。其中，喷砂、喷丸效果最好；采用强酸强碱处理，易使工件表面产生过腐蚀，因此要严格按工艺规程进行操作，以保证磷化质量。

2）根据磷化液的工作温度，分为低温磷化、中温磷化和高温磷化三种。操作前，根据选用的配方要求，将磷化槽和热水槽分别加热至工艺规定的温度。对磷化槽加热，

不要采用直接加热方式，以免造成沉渣浮起，附在工件表面上，影响磷化质量。经过脱脂、除锈、中和、水洗后的工件，要及时移入磷化槽，入槽的速度应缓慢平稳。磷化时，磷化液应将工件完全浸没。按工艺规定达到浸渍时间后，将工件平稳地从槽中提起，移入热水槽中浸渍 1min 左右。热水槽的温度不宜低于 80℃。待工件热透，用起重机将工件从槽中提出，待表面水分全部蒸发后，从起重机上卸下，用洁净的擦布和压缩空气把工件内腔和凹陷部位的积水清理干净，然后转入下道工序。浸渍磷化方法的优点是适用于处理形状复杂的工件，沉渣量少，设备维护容易。缺点是磷化时间较长，处理浓度高，膜层结晶粗糙。

3）喷射法一般在自动生产线上进行操作。被处理工件经过前道工序处理后，随输送线进入磷化喷射槽，这时应及时起动循环泵，对工件进行磷化处理。采用喷射法前要对配制的磷化液进行多次过滤，确保磷化液清洁无杂质和沉淀物。喷射时，调整好喷射压力，压力过小，容易使工件表面局部磷化不上；压力过大，磷化膜薄，较适宜的压力一般为 0.05～0.15MPa。喷射的时间为 1～2min。磷化后的工件可直接进入烘干室进行干燥处理。干燥温度为 100℃，烘干时间为 5～10min。然后，用毛刷刷掉表面浮灰，即可转入涂装工序。喷淋磷化方法的优点是适用于处理几何形状较为简单的板材，而且由于喷射时冲击力和磷化时化学作用的结合，使喷淋磷化的速度提高，浓度较低，膜层结晶较为细密、均匀。缺点是工件内部部位不易磷化，还易遭受腐蚀，喷淋的沉渣较多，设备投资大，维护困难。

4）刷涂法是直接将处理液通过手工刷涂的方式涂到工件上面，达到化学处理的目的。涂刷磷化方法的优点是适用于大型钢铁构件的磷化或局部磷化，能获得中等和较薄的磷化膜，设备投资少，磷化方便。缺点是磷化膜不够均匀，受人为因素影响较大。

### 3.4.13　浸渍磷化有何特点？

浸渍磷化处理按照工艺流程，将工件顺序浸入磷化液槽中进行处理。大型工件可用吊挂方式，小件用篮筐盛装。它是一种最早采用的磷化方式，目前应用最广。

浸渍磷化的优点是磷化槽液可以达到的地方均能进行处理，即适合于各种形状和结构的工件，设备维护工作量小，槽液浪费少，日常管理简单。其缺点是没有类似喷淋工艺机械冲刷的辅助作用，处理速度相对较慢，处理时间相对较长，特别是连续悬挂输送工件时，除了工件在槽中处理的时间外，还有工件空走时间、上槽下槽时间等，设备投资大，占地面积多，形成磷化膜结晶比较粗糙，磷化液浓度比较高。

### 3.4.14　喷淋磷化有何特点？

喷淋磷化是按工艺流程，将工件传递到处理位置，用泵将磷化液加压，并以 0.1～0.2MPa 的压力将磷化液形成雾状，喷淋在工件表面，从而达到磷化的一种处理方式。广泛用于家用电器、汽车处理等。

喷淋磷化的优点是具有喷射力冲刷和溶液更新作用，一般处理时间短，只需要 1～2min，磷化膜结晶相对比较致密、膜薄，设备尺寸小，占地少，可以自动控制，槽液浓度较低。

其缺点是只适用于有油无锈的工件或几何形状简单的钣金件，对于几何形状复杂或有封闭内腔的工件，不易处理。设备维护量大，磷化液消耗较大，一般不适用有锈的工

件。

### 3.4.15　涂刷磷化有何特点?

涂刷磷化是直接将磷化液（或多合一综合性处理液）通过手工刷涂在工件表面上，而达到磷化目的的一种处理方式，一般用在不宜采用浸渍处理或喷淋处理的大型钢铁构件或局部磷化，或没有磷化设备的厂家。设备投资极少，适应性强，操作方便，但对于不易涂刷的部位不适用，人为因素影响大，劳动强度大，易造成残液的加速腐蚀。

### 3.4.16　喷浸结合的磷化有何特点?

喷浸结合是将工件先喷淋，然后入槽浸渍，出槽后再喷淋，所有的浸渍喷淋均采用同一槽内的槽液。目前汽车车身的磷化已大部分采用这种方式。既保留了喷淋磷化速度快、时间短等优点，又保留了浸渍磷化对工件所有部位均可进行有效处理的优点。

### 3.4.17　怎样检验磷化处理的质量?

经过磷化处理的工件，磷化膜的质量检验应根据 GB/T 6807—2001《钢铁工件涂装磷化处理技术条件》，主要质量指标是三项：外观、磷化膜重、耐蚀性。

1. 外观

磷化后的工件颜色应为浅灰色到灰黑色或彩色，膜层应结晶致密、连续和均匀。

磷化后的工件具有下列情况或其中之一时，均为允许缺陷：轻微的水迹、钝化痕迹、擦白及挂灰现象；在焊缝处无磷化膜；由于局部热处理、焊接以及表面加工状态的不同而造成颜色和结晶不均匀。

磷化后的工件具有下列情况之一时，均为不允许缺陷：有锈蚀或绿斑；疏松的磷化膜层；表面严重挂灰；局部无磷化膜（焊缝处除外）。

2. 磷化膜的厚度

磷化膜的厚度分类见表 3-32。

**表 3-32　磷化膜厚度（膜重）分类**

| 分　类 | 膜重/($g/m^2$) | 膜的组成 | 用　途 |
|---|---|---|---|
| 次轻量级 | 0.2~1.0 | 主要由磷酸铁、磷酸钙或其他金属的磷酸盐所组成 | 用作较大形变钢铁工件的涂装底层或耐蚀性要求较低的涂装底层 |
| 轻量级 | 1.1~4.5 | 主要由磷酸锌和(或)其他金属的磷酸盐所组成 | 用作涂装底层 |
| 次重量级 | 4.6~7.5 | 主要由磷酸锌和(或)其他金属的磷酸盐所组成 | 可用作基本不发生形变钢铁工件的涂装底层 |
| 重量级 | >7.5 | 主要由磷酸锌、磷酸锰和(或)其他金属的磷酸盐组成 | 不宜作涂装底层 |

3. 耐蚀性

耐蚀性主要包括磷化膜的耐蚀性和磷化后涂漆漆膜的耐蚀性两部分。其检验方法如下所示：

（1）磷化膜耐蚀性检验　应将已降至室温的磷化试样浸入质量分数为 3% 的氯化钠

水溶液中，并在15～25℃下，保持1h，取出试样，洗净、吹干，目视检查磷化表面不出现锈蚀（棱边、孔、角及焊缝处除外），则为合格。

（2）涂膜耐蚀性检验　将磷化后的工件喷涂厚度为25～35μm的白色氨基烘干磁漆涂膜试样，进行耐中性盐雾试验，铁系磷化膜的涂装试样经8h耐中性盐雾试验后，除划痕部位（指划痕任何一侧的附近宽度0.5mm范围内）外，涂膜应无起泡、脱落及锈蚀等现象则为合格。在涉及磷化膜质量检测中，还有一些其他相关的检验项目，如附着力试验、杯突试验、盐雾试验、硫酸铜试验、晶粒形貌与晶粒尺寸等。

1）附着力试验，应采用GB/T 9286—1998《色漆和清漆　漆膜的划格试验》和GB/T 1720—1979《漆膜附着力测定法》进行。

2）杯突试验，应按照GB/T 9753—2007《色漆和清漆　杯突试验》进行。

3）盐雾试验，其方法应参照GB/T 1771—2007《色漆和清漆　耐中性盐雾性能的测定》和GB/T 10125—1997《人造气氛腐蚀试验　盐雾试验》进行。

在实际生产时，这些标准（附着力试验、杯突试验、盐雾试验、硫酸铜试验、晶粒形貌与晶粒尺寸等）可由供需双方协商确定。

### 3.4.18　常见的磷化质量问题及解决方法是什么？

常见的磷化质量问题及解决方法见表3-33。

表3-33　常见的磷化质量问题及解决方法

| 序号 | 质量问题 | 外观现象 | 产生原因 | 解决方法 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 无磷化膜或磷化膜不易形成 | 工件整体或局部无磷化膜，有时发蓝或有空白片 | 1. 工件表面有硬化层 | 1. 改进加工方法或用酸洗、喷砂去除硬化层,达到表面处理要求 |
| | | | 2. 总酸度不够 | 2. 补加磷化剂 |
| | | | 3. 处理温度低 | 3. 升高磷化槽液温度 |
| | | | 4. 游离酸太低 | 4. 补加磷化剂 |
| | | | 5. 脱脂不净或磷化时间偏短 | 5. 加强脱脂或延长磷化时间 |
| | | | 6. 工件表面聚集氢气 | 6. 翻动工件或改变工件位置 |
| | | | 7. 磷化槽液比例失调,如$P_2O_5$含量过低 | 7. 调整或更换磷化槽液 |
| | | | 8. 工件重叠或工件之间发生接触 | 8. 注意增大工件间隙,避免接触 |
| 2 | 磷化膜过薄 | 磷化膜太薄、结晶过细或无明显结晶，耐蚀性能差 | 1. 总酸度过高 | 1. 加水稀释磷化槽液 |
| | | | 2. 磷化时间不够 | 2. 延长磷化时间 |
| | | | 3. 处理温度过低 | 3. 升高处理温度 |
| | | | 4. 促进剂浓度高 | 4. 停止添加促进剂 |
| | | | 5. 工件表面有硬化层 | 5. 用酸洗或喷砂清理,达到表面处理要求 |
| | | | 6. 亚铁离子含量低 | 6. 插入铁板,并检测总酸度或游离酸度变化情况 |
| | | | 7. 表调效果差或表调失效 | 7. 更换或添加表调剂 |

（续）

| 序号 | 质量问题 | 外观现象 | 产 生 原 因 | 解 决 方 法 |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 磷化膜结晶粗大 | 磷化膜结晶粗大、疏松、多孔、表面有水锈 | 1. 工件未清洗干净 | 1. 加强磷化前工件的表面预处理 |
| | | | 2. 工件在磷化前生锈 | 2. 除锈水洗后减少工件在空气中的暴露时间 |
| | | | 3. 亚铁离子含量偏低 | 3. 提高亚铁离子的含量，如补加磷酸二氢铁 |
| | | | 4. 游离酸度偏低 | 4. 加入磷酸等，提高游离酸度 |
| | | | 5. 磷化温度低 | 5. 提高槽液温度 |
| | | | 6. 工件表面产生过腐蚀现象 | 6. 控制除锈时间或更换除锈剂 |
| 4 | 磷化膜挂灰 | 磷化膜干燥后表面有白色粉末 | 1. 槽液含渣量过大 | 1. 清除槽底残渣，并定期过滤 |
| | | | 2. 酸比太高 | 2. 补加磷化剂 |
| | | | 3. 处理温度过高 | 3. 降低磷化处理温度 |
| | | | 4. 槽底沉渣浮起，黏附在工件上 | 4. 静置磷化槽液，并翻槽 |
| | | | 5. 工件表面氧化物未除净 | 5. 加强酸洗并充分水洗 |
| | | | 6. 溶液氧化剂含量过高，总酸度过高 | 6. 停加氧化剂，调整酸的比值 |
| 5 | 磷化膜发花 | 磷化膜不均匀，有明显流挂痕迹 | 1. 脱脂不干净 | 1. 强脱脂或更换脱脂剂 |
| | | | 2. 表调剂效果不佳或已失效 | 2. 更换或补充表调剂 |
| | | | 3. 磷化槽液喷淋不均匀 | 3. 检查并调整喷嘴 |
| | | | 4. 工件表面钝化 | 4. 加强酸洗或喷砂 |
| | | | 5. 磷化温度低 | 5. 提高磷化温度 |
| 6 | 磷化膜发黑 | 局部呈黑条状，膜黑且粗糙 | 1. 促进剂浓度太低 | 1. 加促进剂 |
| | | | 2. 酸洗过度 | 2. 控制酸洗时间 |
| 7 | 磷化表面生锈 | 磷化后工件表面产生黄色锈斑或锈点 | 1. 磷化膜晶粒过粗或过细，使耐蚀性降低 | 1. 调整游离酸度与总酸度的比例 |
| | | | 2. 游离酸含量过高 | 2. 降低游离酸含量，可加氧化锌或氢氧化锌 |
| | | | 3. 工件表面过腐蚀 | 3. 控制酸洗过程 |
| | | | 4. 溶液中磷酸盐含量不足 | 4. 补充磷酸二氢盐 |
| | | | 5. 工件表面有残酸 | 5. 加强中和和水洗 |
| | | | 6. 磷化槽沉淀多，已堵塞喷嘴 | 6. 检查喷嘴并进行清理，检查磷化槽沉淀量 |
| | | | 7. 处理温度低 | 7. 提高处理温度 |
| | | | 8. 设备原因，如喷淋的压力过大、喷嘴方向等 | 8. 逐一检查设备是否运行正常 |

（续）

| 序号 | 质量问题 | 外观现象 | 产生原因 | 解决方法 |
|---|---|---|---|---|
| 8 | 磷化膜发红 | 磷化膜红但不是锈 | 1. 铜离子渗入磷化液 | 1. 注意不用铜挂具;用铁屑置换除去或用硫化处理,调整酸度 |
| | | | 2. 酸洗液中的铁渣附着 | 2. 加强酸洗过程的质量控制 |
| 9 | 膜呈彩虹花斑 | 用指甲划过无划痕，对光观察呈彩虹色 | 1. 促进剂浓度过高 | 1. 停加促进剂 |
| | | | 2. 促进剂分布不均匀 | 2. 充分搅拌,使之均匀 |
| | | | 3. 脱脂不彻底 | 3. 补加脱脂剂 |
| 10 | 磷化槽液变黑 | 磷化槽液变黑浑浊 | 1. 槽液温度低于规定温度 | 1. 停止磷化,升高槽液温度至沸点,保持1～2h,并用空气搅拌,直至恢复原色 |
| | | | 2. 溶液中亚铁离子过量 | 2. 氧化剂,如高锰酸钾等 |
| | | | 3. 总酸度过低 | 3. 补充硝酸锌,提高总酸度 |
| 11 | 磷化膜发蓝 | 磷化膜部分表面产生紫蓝色彩 | 1. 表调剂的pH值不在工艺范围 | 1. 补加表调剂或补加 $Na_2CO_3$，以提高pH值 |
| | | | 2. 表调与磷化间隔区的水雾喷嘴堵塞 | 2. 检查、清扫水雾喷嘴 |
| | | | 3. 磷化槽液的锌离子含量不足 | 3. 补加磷化液或硝酸锌 |
| | | | 4. 磷化槽液的促进剂含量不够 | 4. 补加促进剂 |
| 12 | 涂膜起泡 | 涂装后，涂膜发生起泡现象 | 1. 磷化后水洗不充分 | 1. 检查喷嘴和水洗方法 |
| | | | 2. 清洗水被污染 | 2. 增加供水量,控制清洗水的电导率在150μS/cm以下 |
| | | | 3. 纯水的水质不好 | 3. 控制纯水的电导率在5μS/cm以下 |
| | | | 4. 吊架或传送带上滴落水 | 4. 消除这类滴水 |

### 3.4.19　静电喷粉前磷化工艺是什么？

典型家用电器静电喷粉前磷化工艺见表3-34。

**表3-34　典型家用电器静电喷粉前磷化工艺**

| 序号 | 工序名称及说明 | 处理工艺 | 处理方式 | 工艺 | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 温度/℃ | 时间/min | |
| 1 | 预检 | 检查白件,有无锈蚀物、原污物等,应预擦洗、打磨干净 | | | | |
| 2 | 预处理 | 预脱脂 | 喷淋 | 60 | 1 | 锌系磷化一般膜重1.5～3.5g/m² |
| | | 脱脂 | 喷淋 | 60 | 2 | |

（续）

| 序号 | 工序名称及说明 | 处理工艺 | 处理方式 | 工艺 | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 温度/℃ | 时间/min | |
| 2 | 预处理 | 水洗 | 喷淋 | 常温 | 0.5 | 锌系磷化一般膜重 1.5～3.5g/$m^2$ |
| | | 水洗 | 喷淋 | 常温 | 0.5 | |
| | | 表调 | 喷淋 | 常温 | 0.5 | |
| | | 磷化 | 喷淋 | 40 | 3 | |
| | | 水洗 | 喷淋 | 常温 | 0.5 | |
| | | 水洗 | 喷淋 | 常温 | 0.5 | |
| | | 去离子水洗 | 喷淋 | 常温 | 0.5 | |
| 3 | 水分干燥 | 烘干工件水分 | 热风循环或辐射 | 110～140 | 15 | |
| 4 | 喷涂 | 静电喷粉 | 静电喷粉 | 常温 | — | 粉末涂装漆膜厚度 50～90μm |

### 3.4.20　混合散件磷化工艺是什么？

混合散件磷化工艺见表 3-35。

**表 3-35　混合散件磷化工艺**

| 序号 | 工序名称 | 处理工艺 | 处理方式 | 工艺 | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 温度/℃ | 时间/min | |
| 1 | 预检 | 检查装筐 | | | | |
| 2 | 预处理 | 预脱脂 | 浸泡 | 常温或加温 | 5～10 或 3 | 1. 磷化质量，锌系优于彩膜膦化。如果工件磷化后要存放，用锌系为佳<br>2. 磷酸酸洗除锈无腐蚀残留，对质量最有利<br>3. 采用硫酸加温酸洗既经济又避免盐酸酸雾 |
| | | 水洗 | 浸泡 | 常温 | 1 | |
| | | 除锈 | 浸泡 | 常温或加温 | 5～10 或 3 | |
| | | 水洗 | 浸泡 | 常温 | 1 | |
| | | 中和 | 浸泡 | 常温 | 1 | |
| | | 表调 | 浸泡 | 常温 | 1 | |
| | | 磷化 | 浸泡 | 常温或加温 | 5～10 或 5 | |
| | | 水洗 | 浸泡 | 常温 | 1 | |
| | | 水洗 | 浸泡 | 常温或加温 | 1 | |
| 3 | 水分干燥 | 烘干或晾干 | 热风循环 | 110～140 | 15 | |
| | | | 或辐射 | 或常温 | 或适宜 | |
| 4 | 喷涂 | 喷涂漆 | 喷、刷 | 常温 | — | |

### 3.4.21　电泳前磷化工艺是什么？

电泳前磷化工艺见表 3-36。

表 3-36　电泳前磷化工艺

| 工序名称及说明 | 处理(操作)方式 | 工艺 | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|
| | | 温度/℃ | 时间/min | |
| 手工预擦洗 | 手工擦洗或高压水冲洗 | 室温或 70 | (1～2)个工位 | 如果车身表面较清洁可不设本工序 |
| 进入预处理设备,去油,磷化 | | | | 1. 各工序的工艺参数与所选用的表面处理材料的品种类型有关<br>2. 如果车身表面较干净,在产量小的场合,预脱脂工序可省去<br>3. 如果脱脂工序采用具有表调功能脱脂剂,则表调工序可省略<br>4. 低温磷化处理为 40～45℃,中温为 55℃左右,选用时应注意磷化膜与电泳底漆的配套性<br>5. 钝化工序在欧美汽车厂仍采用<br>6. 烘干工序仅在需贮存或涂溶剂型底漆场合采用。在电泳底涂装为节能,在新设计的涂装线已淘汰烘干工序 |
| 预清洗 | 喷 | 60 | 1 | |
| 预脱脂 | 喷 | 60 | 1 | |
| 脱脂 | 浸喷 | 60 | 3 | |
| 水洗 | 浸 | 室温 | 0.2～0.5 | |
| 水洗(浸入即出) | 浸 | 室温 | 0.2 | |
| 表调(浸入即出) | 浸 | <35 | 0.2 | |
| 磷化处理(中温或低温) | 浸 | 45～55 | 3 | |
| 水洗 | 喷 | 室温 | 0.2～0.5 | |
| 水洗(浸入即出) | 浸 | 室温 | 0.2 | |
| 钝化 | 浸或喷 | 室温 | 0.2 | |
| 循环去离子水洗 | 浸 | 室温 | 0.2 | |
| 新鲜去离子水洗 | 喷 | 室温 | 0.2 | |
| 水分烘干、热风吹干 | | 100 或 70 | | |
| 阴极电泳底漆 | 电泳 | — | 3～3.5 | |

### 3.4.22　什么是氧化?

通过氧化反应使金属表面产生保护性氧化膜的方法称氧化，经过氧化处理的工件可以大大提高金属的防锈能力，提高表面耐蚀性，是一种简单、廉价的金属保护方法。有化学氧化和电化学氧化两类。

钢铁材料的氧化，俗称发蓝，是通过化学或电化学的方法，在表面形成一层薄氧化膜（厚度一般为 0.5～1.5μm）。根据工艺条件的不同（碱性、酸性、热氧化等），呈现不同的颜色，从蓝色至深黑色。

### 3.4.23　钢铁材料的氧化工艺是什么?

钢铁材料的氧化工艺见表 3-37 所示。

表 3-37　钢铁材料的氧化工艺

| 原材料及工艺条件/(g/L) | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 第一步 | 第二步 |
| 苛性钠(NaOH) | 600～700 | 600～700 | 550～650 | 550～650 | 750～850 |
| 亚硝酸钠($NaNO_2$) | 200～250 | 55～65 | 150～200 | 100～150 | 150～200 |
| 磷酸三钠($Na_3PO_4$) | | 20～30 | | | |
| 重铬酸钾($K_2Cr_2O_7$) | 25～35 | | | | |
| 温度/℃ | 130～137 | 130～137 | 135～145 | 130～135 | 140～150 |
| 时间/min | 15 | 60～90 | 60～90 | 10～20 | 40～50 |

注：1. 1 号氧化速度快，膜致密，光亮性较差。
2. 2 号含磷酸三钠，当铁含量多时，对氧化膜有增益作用。
3. 3 号为通用配方。
4. 4 号为二步法，第二步的药液浓度比第一步高，第一步完成后，直接进入第二步，氧化膜性能好。

钢铁经过氧化处理后，耐蚀性提高，但防护性仍然较差，需要进一步用铬盐、皂液、浸油等进行钝化处理，如果不进行涂装直接使用，需经常涂防锈油保持防锈状态。碱液法氧化工艺流程为：脱脂→水洗→酸洗→水洗→化学氧化→浸洗→水洗→钝化→水洗→吹干。不合格的氧化膜可以用浓度为 100 ~ 150g/L 的盐酸或硫酸溶液浸渍数秒即可清除，然后重新氧化。

### 3.4.24 钢铁材料表面氧化膜常见缺陷及处理方法是什么？

钢铁材料表面氧化膜常见缺陷及处理方法见表 3-38。

**表 3-38 钢铁材料表面氧化膜常见缺陷及处理方法**

| 缺陷 | 原因及处理方法 |
|---|---|
| 氧化膜有红色挂灰 | 1. NaOH 含量过高,降低 NaOH 浓度<br>2. 温度过高,降低温度<br>3. 含铁量过多,稀释溶液使沸点降至 120℃,部分铁酸钠水解成氢氧化铁析出,再加热浓缩至原沸点 |
| 氧化膜色泽不均、发花 | 1. 氧化时间不够<br>2. NaOH 含量低,补充 NaOH,提高沸点<br>3. 脱脂不彻底,做好预处理除脂工作 |
| 氧化膜附着力差 | $NaNO_2$ 含量低,补充 $NaNO_2$ |
| 氧化膜色浅或不生成氧化膜 | 溶液太稀,补充各组分或加热浓缩,提高沸点 |
| 局部不生成氧化膜或脱落 | 1. 工件相互接触,氧化时要经常翻动<br>2. 脱脂不彻底,做好预处理除脂工作 |
| 黄绿色挂霜 | 1. 温度过高,补充水分,降低沸点<br>2. $NaNO_2$ 含量过高,降低 $NaNO_2$ 用量 |
| 氧化后用皂液处理时,氧化膜出现白点 | 皂液水质硬,氧化后清洗不好,加强清洗 |
| 存放期间出现白点 | 氧化后清洗不好,加强清洗 |

### 3.4.25 什么是铜及铜合金的氧化？

铜及铜合金的氧化是指通过化学或电化学的方法在铜及其合金的表面形成一层薄氧化膜（厚度一般为 0.5 ~ 2μm），其氧化膜颜色一般为黑色、蓝黑色。铜及铜合金化学氧化和电化学氧化工艺分别见表 3-39 和表 3-40。

**表 3-39 铜及铜合金化学氧化工艺**

| 原材料及工艺条件/(g/L) | 1 | 2 | 原材料及工艺条件/(g/L) | 1 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 过硫酸钾($K_2S_2O_8$) | 10 ~ 20 | | 温度/℃ | 60 ~ 65 | 15 ~ 40 |
| 苛性钠(NaOH) | 45 ~ 50 | | 时间/min | 5 ~ 10 | 5 ~ 15 |
| 碱式碳酸铜 | | 40 ~ 50 | 适用范围 | 纯铜 | 黄铜 |
| 25%氨水($NH_3 \cdot H_2O$) | | 200 | | | |

**表 3-40　铜及铜合金电化学氧化工艺**

| 原材料及工艺条件/(g/L) | | 原材料及工艺条件/(g/L) | |
|---|---|---|---|
| 苛性钠($NaOH$) | 100～250 | 阳极电流密度/($A/dm^2$) | 0.6～1.5 |
| 温度/℃ | 80～90 | 阴极材料 | 不锈钢 |
| 时间/min | 20～30 | 阴阳极面积比 | (5～8):1 |

铜及铜合金的氧化工艺流程为：脱脂→水洗→化学氧化（或电化学氧化）→浸洗→水洗→吹干。

铜及铜合金氧化操作时，要注意控制添加氧化液的浓度，浓度过低，膜生成不足，起不到防锈作用；浓度过高氧化膜则会溶化、脱落、疏松、结合力差。操作过程中要经常翻动，以保持氧化均匀。不合格的氧化膜可以用浓盐酸（质量分数为 37%，全书同）或质量分数为 10% 硫酸溶液清洗掉，重新氧化。尽管经过氧化处理后生成的铜氧化膜比氧化铁致密性要高得多，但仍需涂油或涂料做进一步保护，以保持良好的防锈耐蚀状态。

### 3.4.26　什么是铝及铝合金的氧化？

铝及铝合金氧化指通过天然、化学或电化学的方法，在表面形成一层薄氧化膜（厚度一般为 0.5～20μm），根据氧化液的不同，呈现从白色到彩色不同色彩的氧化膜。

铝及铝合金通过不同方法得到氧化膜质量的比较见表 3-41。

**表 3-41　铝及铝合金通过不同方法得到氧化膜质量的比较**

| 氧化膜形成方式 | 厚度/μm | 特　　性 |
|---|---|---|
| 大气中自然形成 | 0.005～0.015 | 非晶态、孔较多、不均匀 |
| 化学氧化 | 0.3～4 | 附着力好、质软 |
| 电化学氧化 | 5～20 | 硬度高、附着力较好、耐蚀性好 |

### 3.4.27　铝及铝合金化学氧化工艺是什么？

铝及铝合金化学氧化工艺见表 3-42。

**表 3-42　铝及铝合金化学氧化工艺**

| 氧 化 方 法 | | 配方及工艺条件 | 备　　注 |
|---|---|---|---|
| 铬酸盐氧化法<br>（酸性处理法） | 配方 1 | 铬酸酐($CrO_3$)　4～6g/L<br>铁氰化钾[$K_3Fe(CN)_6$]　0.5g/L<br>氟化钠($NaF$)　1g/L<br>温度　30～35℃<br>时间　20～60s | 膜薄、导电性好<br>彩虹色<br>用于电器零件 |
| | 配方 2 | 铬酸酐($CrO_3$)　3.5～6g/L<br>重铬酸钠($Na_2Cr_2O_7$)　3～3.5g/L<br>氟化钠($NaF$)　0.8g/L<br>pH＝1.5<br>温度　25～30℃<br>时间　3min | 导电性、耐蚀性好，与有机涂层结合好<br>无色透明<br>用于电器、航空、日用品制造业 |

（续）

| 氧化方法 | | 配方及工艺条件 | 备注 |
|---|---|---|---|
| 碱性铬酸盐氧化法（碱性处理法） | | 无水碳酸钠（$Na_2CO_3$）　50g/L<br>铬酸钠（$Na_2CrO_4$）　15g/L<br>氢氧化钠（NaOH）　25g/L<br>温度　80～100℃<br>时间　10～20min | 氧化后需用 20g/L 铬酸溶液作钝化处理 5～15s，膜厚 0.5～1.5μm<br>金黄色<br>用于铝镁、铝锰合金 |
| 磷酸盐-铬酸盐法 | 配方 1 | 磷酸（$H_3PO_4$）　3.5～6g/L<br>铬酸酐（$CrO_3$）　20～25g/L<br>氟化氢铵[（$NH_4$）$HF_2$]　3～3.5g/L<br>硼酸（$H_3BO_3$）　1～1.2g/L<br>温度　30～36℃<br>时间　3～6min | 磷化法<br>膜致密、耐蚀性强<br>膜厚 3～4μm<br>无色到浅蓝色<br>用于铝合金 |
| | 配方 2 | 磷酸（$H_3PO_4$）　45g/L<br>铬酸酐（$CrO_3$）　6g/L<br>氟化钠（NaF）　3g/L<br>温度　15～35℃<br>时间　10～15min | 膜薄、柔韧性好、耐蚀性强<br>用于需加工的铝合金 |
| | 配方 3 | 磷酸（$H_3PO_4$）　22g/L<br>铬酸酐（$CrO_3$）　2～4g/L<br>氟化钠（NaF）　5g/L<br>硼酸（$H_3BO_3$）　2g/L<br>温度　室温<br>时间　15～20s | 化学导电氧化<br>膜薄、导电性好<br>膜厚　0.3～0.5μm<br>无色透明<br>用于需加工的电器铝合金 |

### 3.4.28　铝及铝合金电化学氧化工艺是什么？

铝及铝合金电化学氧化工艺见表 3-43。

**表 3-43　铝及铝合金电化学氧化工艺**

| 配方及工艺条件 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 硫酸（$H_2SO_4$） | 160～200 | 160～200 | 100～110 |
| 铝离子（$Al^{3+}$） | <20 | | |
| 温度/℃ | 13～26 | 0～7 | 13～26 |
| 电压/V | 12～22 | 12～22 | 16～24 |
| 电流密度/（$A/dm^2$） | 0.5～2.5 | 0.5～2.5 | 1～2 |
| 阴极材料 | 纯铝或铅锡合金板 | | |
| 阴极、阳极面积比 | 1.5∶1 | 1.5∶1 | 1∶1 |
| 时间/min | 30～60 | | |
| 搅拌 | 压缩空气 | | |
| 电源 | 直流 | 直流 | 交流 |

注：配方 1、3 适用于一般要求的铝及其合金。配方 2 适用于高硬度、高耐磨铝及其合金。

铝及铝合金氧化处理的工艺流程为：抛光→脱脂→清洗→中和→清洗→化学氧化（或电化学氧化）→浸洗→水洗→吹干→烘烤→成品。

不合格的氧化膜可以用250g/L 的磷酸溶液清洗掉，再次重新氧化。由于氧化铝的致密性比氧化铁要高得多，其防护性能也要好得多，铝及铝合金经氧化反应得到的氧化膜不需再进行涂装保护。

### 3.4.29　铝及铝合金氧化膜的常见缺陷及处理方法是什么？

铝及铝合金氧化处理时氧化膜和电化学氧化膜的缺陷及处理方法分别见表 3-44 和表 3-45。

**表 3-44　铝及铝合金氧化时氧化膜的缺陷及处理方法**

| 缺　　陷 | 原　　因 | 处 理 方 法 |
|---|---|---|
| 有亮点或长条纹，氧化膜不全 | 1. 表面有油污<br>2. 有条纹说明合金表面不均匀 | 1. 去油污<br>2. 细砂纸打磨后重新氧化 |
| 无氧化膜或膜薄 | 1. 表面预处理不好<br>2. 硼酸含量高 | 1. 重新预处理<br>2. 降低硼酸含量 |
| 膜层疏松 | 1. 氟化物含量高<br>2. 硼酸含量低<br>3. 磷酸含量高 | 调整含量 |
| 表面挂灰、质量不佳 | 出光不彻底 | 用硝酸和氢氟酸处理 |

**表 3-45　铝及铝合金电化学氧化膜的缺陷及处理方法**

| 缺　　陷 | 原　　因 | 处 理 方 法 |
|---|---|---|
| 氧化膜上有灰色条纹 | 1. 铝离子含量过高<br>2. 溶液中杂质过高 | 1. 调整铝离子含量<br>2. 更换溶液 |
| 氧化膜腐蚀 | 1. 硫酸浓度过高<br>2. 溶液温度过高<br>3. 氧化时间过长 | 1. 调整硫酸浓度<br>2. 降低温度<br>3. 缩短氧化时间 |
| 氧化膜呈绿色 | 溶液中含 Cu 量过高 | 更换 |
| 氧化膜呈白色雾状 | 1. 溶液温度过高<br>2. 氧化时间过长 | 1. 降低温度<br>2. 缩短氧化时间 |
| 氧化膜不均匀 | 1. 阴极、阳极面积比例不对<br>2. 挂具接触不良 | 1. 调整阴阳极比例为 1∶1<br>2. 改善挂具 |

氧化铝的致密性比氧化铁要高得多，其防护性能也要好得多，经反应得到的氧化膜不需要再进行涂装保护。

### 3.4.30　什么是钝化？

金属和铬酸盐作用生成三价和六价铬化层的过程称为钝化，也称铬化；一般用于

铝、镁及其合金的处理，对钢铁也能形成铬化层，但很少单独使用。通常与磷化相结合，对磷化膜进行钝化处理，以封闭磷化膜中的空隙，进一步增强耐蚀性。

### 3.4.31 钢铁磷化膜的钝化有何特点?

钢铁磷化处理后再次钝化的主要作用是封闭孔隙，进一步提高其耐蚀性。钝化液规格是按照其含铬量的高低划分为中铬钝化、低铬钝化、超低铬钝化和无铬钝化。

1）中铬钝化能褪除磷化膜上的粉状物，质量好，但存在含铬量大，废水难于处理等问题，目前已较少使用。

2）低铬钝化含铬量为 2 ~ 5g/L，钝化液稳定，钝化时间短，操作简单，钝化质量好，但含铬量仍然偏高，废水处理费用偏高，应用较少。

3）超低铬钝化，含铬量 0.0125 ~ 0.05g/L，具有钝化液稳定、钝化速度快、含铬量低、使用成本较低的优点，且兼具含铬钝化的优点，是目前应用最为广泛的方法。

4）无铬钝化可分为有机聚合物钝化和无机钝化，其中比较成功并批量生产使用的是以六氟化锆为主要成分的钝化液，还有钛盐钝化液、钼酸盐钝化液、亚锡盐钝化液等，从总体性能上看，还未完全达到含铬钝化液的水平，其应用还不太广泛。常用的钢铁磷化膜的钝化液配方见表 3-46。

**表 3-46 常用的钢铁磷化膜的钝化液配方**

| 原材料及工艺条件 | 中铬钝化液 | | 低铬钝化液 | | 超低铬钝化液 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| $K_2Cr_2O_7$ | 20 ~ 30g/L | | | | | |
| $Na_2Cr_2O_7$ | | 30 ~ 40g/L | | | | |
| $CrO_3$ | | | 3 ~ 5g/L | 3g/L | 0.2 ~ 0.5g/L | 0.3g/L |
| $Cr(Ac)_3$ | | | | 1g/L | | 0.1g/L |
| HCOOH | | | | 10mL/L | | |
| $HNO_3$ | 10mL/L | | | | | |
| $H_3PO_4$ | | 5mL/L | 2 ~ 3mL/L | | 0.1 ~ 0.3mL/L | 0.2mL/L |
| 温度/℃ | 80 ~ 95 | 室温 ~ 沸腾 | 室温 ~ 70 | 室温 | 室温 | 室温 |
| 时间 | 2 ~ 5min | 1 ~ 2min | 10 ~ 15s | 20 ~ 30s | 20 ~ 30s | 20 ~ 30s |

### 3.4.32 铜及铜合金的钝化有何特点?

铜及铜合金表面钝化的工艺流程为：脱脂→热水洗→冷水洗→酸洗（浓盐酸或质量分数为 10% 的 $H_2SO_4$，室温 30s）→水洗→强酸洗（$H_2SO_4$ 与 $HNO_3$ 体积比为 1∶1，每升加入 1.5g NaCl，室温 3 ~ 5s）→水洗→表调（30 ~ 90g/L $CrO_3$，15 ~ 30g/L $H_2SO_4$，15 ~ 30s）→水洗→酸洗（质量分数为 10% 的 $H_2SO_4$）→水洗→钝化→水洗→烘干。铜及铜合金钝化处理时不合格的钝化膜可采用热的质量分数为 10% 的 $H_2SO_4$ 溶液、浓盐酸或 300g/L 的氢氧化钠溶液浸泡去除。铜及铜合金的钝化液配方见表 3-47。

表 3-47　铜及铜合金的钝化液配方

| 配方及工艺条件/(g/L) | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 重铬酸钠($Na_2Cr_2O_7$) | 100～150 | | |
| 重铬酸钾($K_2Cr_2O_7$) | | | 150 |
| 铬酐($CrO_3$) | | 80～90 | |
| 硫酸($H_2SO_4$) | 5～10 | 25～30 | 18 |
| 氯化钠(NaCl) | 4～7 | 1～2 | |
| 温度/℃ | 室温 | | |
| 时间/min | 3～8 | 15～30 | 2～3 |

### 3.4.33　铝、镁及其合金的钝化有何特点?

铝、镁及其合金的钝化即用铬酸盐进行的酸性氧化。铝、镁及其合金钝化处理时的工艺配方见表 3-48。

表 3-48　铝、镁及其合金钝化处理时的工艺配方

| 配方及工艺条件/g | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| $Na_2CO_3$ | 2～5 | 5 | 5 | 2 |
| $Na_2CrO_4$ | 0.7～2.5 | 0.15 | 1.7 | |
| 水玻璃 | 1～2 | 0.01 | | |
| 水 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 碱性碳酸铬 | | | 0.5 | |
| $Na_2HPO_4$ | | | | 0.2 |
| $KMnO_4$ | | | | 0.5～2.5 |
| 重铬酸盐 | | | | 2 |
| 温度/℃ | 90～100 | 90～100 | 沸腾 | 80～100 |
| 时间/min | 5～15 | 10～30 | 3～5 | 16～60 |

## 3.5　除漆

### 3.5.1　如何用砂纸打磨去旧漆?

去旧漆时，所用砂纸粒度要视旧漆的情况定，当旧涂膜是丙烯酸硝基漆且涂膜较厚时，采用 24#砂纸较为适宜；当表面为腻子层和复合油灰层时，就需要用更粗的 16#砂纸；当旧漆是较薄的烤漆时，可采用粒度较细的 50#～60#砂纸。采用 60#砂纸时，剥离后的边缘部位很整齐，不需再进行修边处理，而且金属表面也不会留下砂纸划痕。砂纸粒度的选择对剥离接口表面质量以及对后续工序的影响见表 3-49。

对于涂膜上的小划痕，采用的砂纸粒度以 80#为宜。要注意打磨面应比原划痕稍大，不能形成台阶状。若划痕较浅，打磨后不需刮抹油灰，打磨形成的边缘交接面应更

宽一些，以平缓过渡，打磨前后的对比如图 3-15 所示。

**表 3-49　砂纸粒度的选择对剥离接口表面质量以及对后续工序的影响**

| 砂纸粒度 | 采用 60#砂纸时 | 采用 60#、40#砂纸时 | 采用 24#砂纸时 |
|---|---|---|---|
| 边缘状态 | | | |
| 备注 | 打磨面平整，无需进行边缘修整，可以直接进入打腻子工序 | 打磨面较平整，打磨方法得当，也可以不进行边缘修整，打磨需一定技巧 | 打磨面粗糙，打磨后必须进行边缘修整 |

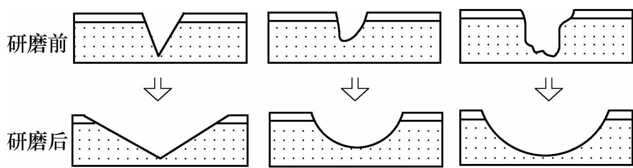



图 3-15　打磨前后的对比

### 3.5.2　如何用手工工具去旧漆？

去旧漆常用的手工工具有钢刮铲、扁铲、钢鞭、敲锤等，如图 3-16 所示。

1）钢刮铲的使用较为广泛，如客车保险杠等部件旧漆清除、轿车局部修补前的旧漆清除，均较适用钢刮铲配合敲锤进行清除。使用钢刮铲时，用右手紧握刮铲的弯柄，左手握紧铲身的中部，顺物面纵行重叠（即后铲压前铲 1/3 面积），依次将旧漆铲除干净。

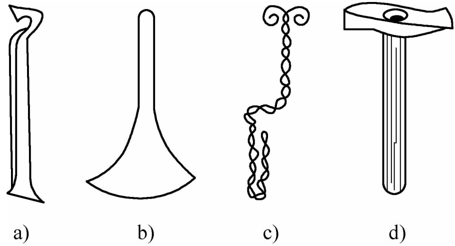



图 3-16　手工去旧漆工具

a）钢刮铲　b）扁铲　c）钢鞭　d）敲锤

2）扁铲主要用于汽车因碰撞等造成的凸凹不平部位漆膜的清除，或边缘、夹缝部位旧漆清除。

3）钢鞭多用于旧客车、旧货车等腻子层较厚涂层部位旧漆的清除。

4）当旧漆的腻子涂层较厚时，可先用钢鞭抽打旧漆，旧漆的腻子层完全开裂松动时，再用钢刮铲或扁铲配合敲锤反复清除干净。

### 3.5.3　如何用碱液去旧漆？

碱液去旧漆是利用碱液的强腐蚀作用，使漆膜膨胀松软，并用刮刀刮铲清除，再用温水洗净，达到清除旧漆效果的方法。碱液除旧漆配方及操作方法见表 3-50。

碱液去旧漆使用方便，可将工件置于碱液槽中浸渍，或配制成脱漆膏，涂于旧漆膜上。但脱漆时间较长，一般需经数小时。碱液法不适用于非铁金属、皮革、毡毛织物、橡胶、有机玻璃等制品的去旧漆。

表 3-50　碱液除旧漆配方及操作方法

| 成　　分 | 使 用 方 法 | 成　　分 | 使 用 方 法 |
|---|---|---|---|
| 磷酸氢二钠 8 份<br>碳酸钠 3 份<br>磷酸三钠 6 份<br>硅酸钠 3 份<br>水 1000 份 | 将药品逐个加入水中溶液，搅匀，加热到 90 ~ 95℃，将工件放入煮 1 ~ 1.5h，再用 40 ~ 50℃ 水洗净，应注意经常除去溶液表面的浮油 | 氢氧化钠 16 份<br>生石灰 18 份<br>机油 10 份<br>碳酸钙 22 份<br>水 334 份 | 将氢氧化钠溶于水中，再加入生石灰、机油、碳酸钙，搅拌成糊状，涂于旧漆表面 2 ~ 3 层，约 2 ~ 3h，漆层被破坏，用刀铲除 |
| 氢氧化钠 77%<br>碳酸钠 10%<br>表面活性剂 3%<br>山梨酸或甘露醇 5%<br>甲酚钠 5% | 将药品混合后取 6 ~ 15 份，加入 94 ~ 85 份水。再将此水溶液加热到 90 ~ 95℃，即可将工件浸入脱漆 | 碳酸钙 6 ~ 10 份<br>碳酸钠 4 ~ 7 份<br>生石灰 1 ~ 15 份<br>水 80 份 | 将药品混合，搅拌成糊状，涂于旧漆表面 2 ~ 3 层，经 2 ~ 3h，漆层被破坏，用刀铲除 |

### 3.5.4　如何用脱漆剂去旧漆？

（1）脱漆剂　脱漆剂是能溶解或溶胀漆膜的溶剂或膏状物，主要由溶解力强的溶剂与石蜡、纤维素醚等组成。常用脱漆剂的配方及使用条件见表 3-51。

表 3-51　常用脱漆剂的配方及使用条件

| 序　　号 | 脱漆剂配方 | | 工作条件 | |
|---|---|---|---|---|
| | 材料名称 | 使用量（质量分数，%） | 温度/℃ | 时间/h |
| 1 | 乙醇 | 22 | 常温 | 1 ~ 2 |
| | 丙酮 | 10 | | |
| | 纯苯 | 64 | | |
| | 石蜡 | 4 | | |
| 2 | 醋酸乙酯 | 26 | 常温 | 1 ~ 2 |
| | 丙酮 | 10 | | |
| | 甲苯 | 56 | | |
| | 石蜡 | 8 | | |
| 3 | 苯酚 | 2 ~ 8 | 常温 | 1 ~ 2 |
| | 酒精 | 2 ~ 8 | | |
| | 乙烯树脂 | 0.5 ~ 2 | | |
| | 石蜡 | 0.5 ~ 2 | | |
| | 平平加 | 1 ~ 4 | | |
| | 二氯甲烷 | 65 ~ 85 | | |
| | 甲酸 | 1 ~ 6 | | |

（2）操作方法　操作前，根据旧漆的种类选择合适的脱漆剂配方，根据脱漆工件的形状大小选择合适的脱漆剂容器，并做好工件的表面清理工作。将工件放入脱漆剂容器中，根据脱漆工艺浸蚀一段时间。取出工件用毛刷或排笔蘸脱漆剂刷掉旧漆层，可重复操作至旧漆层全部除尽。

（3）操作注意事项　浸渍工件时要轻拿轻放，避免工件碰撞产生火星引起火灾。旧漆层除去后，必须用稀释剂将工件擦洗干净，或用肥皂水刷洗，再用清水冲洗，最后

用干燥的压缩空气吹干。以防工件表面残留的脱漆剂对涂装造成影响。脱漆剂由多种有机溶剂组成，易燃易爆，对人体也有一定的毒性。因此，操作时要戴好口罩和脱皮手套，不要用手直接接触脱漆剂，要严格遵守安全操作规程，禁止明火，施工场地应通风良好。

#### 3.5.5 脱漆剂作用的原理是什么?

脱漆剂脱漆主要借助于脱漆剂中的有机溶剂对多数涂膜能起溶解溶胀作用，达到清除底材表面上旧涂膜的目的。当脱漆剂渗入涂层高聚物的高分子链段间隙后，引起高聚物溶胀，使涂膜的体积不断增大，涂膜高分子体积增大所产生的内应力，减弱和最后破坏了涂膜对底材的附着力，涂膜从点状溶胀后发展为成片溶胀，使涂膜皱起，彻底破坏了涂膜对底材的附着力，最终将涂膜咬起而清除。

#### 3.5.6 脱漆剂如何分类?

脱漆剂根据所清除的成膜物质不同，分为两大类：一类是以酮类、苯类和酯类等有机溶剂和挥发阻缓剂石蜡配制而成，俗称白药水，主要用于清脱脂基、醇酸及硝基漆等旧涂膜。这类脱漆剂主要由一些挥发性大的有机溶剂组成，存在易燃、毒性等问题，价格较便宜。另一类是以二氯甲烷，石蜡和纤维素醚为主要成分配制而成的氯化烃类脱漆剂，俗称水冲型脱漆剂，主要用于清除环氧沥青、聚氯酯、环氧聚酰胺或氨基醇酸树脂等固化型旧涂膜。脱漆效率高、毒性小，应用广泛。以二氯甲烷为主溶剂的脱漆剂根据 pH 值的不同，还分为中性脱漆剂（$pH=7\pm1$）、碱性脱漆剂（pH 大于 7）和酸性脱漆剂（pH 小于 7）三种。

目前，水性无毒脱漆剂产品异军突起，已成为一类新型的脱漆剂产品。

#### 3.5.7 怎样用加热法去旧漆?

加热法是利用火焰的高温使涂膜燃烧炭化达到除漆的目的。通常使用酒精喷灯、煤油喷灯或氧-乙炔火焰灼烧漆膜，使其焦软、起泡，而后用刮刀铲清除。

1）加热法去旧漆的方法特点是成本低，脱漆需时短，但其烟雾污染环境对人有害，还会损伤物体表面，使金属变形，所以只适用于对物体表面要求不高的场合。

2）加热法去旧漆的操作方法主要内容：操作中，先点火，调节喷灯或乙炔枪呈温度最高的蓝色火焰，调整距离，使蓝色火焰部分与涂膜接触，左手握喷灯，右手拿刮刀，涂膜烧焦卷曲后，及时刮去，要边烧烤旧漆边用刮刀清除。两手相互配合，烤一处清一处，这样才能提高清除效率和清除质量。

3）加热法去旧漆方法的注意事项：①操作时，要注意劳动保护，防止灼伤，并做好安全工作，而且要不断检查贮油罐的剩余油量，使之不得少于 100g，以防油罐过热发生危险；②用喷灯只能清除金属基层表面的旧漆，不能用于清除玻璃钢等非金属表面的旧漆，以防高温变形或发生火灾。

## 3.6 非铁金属材料涂装前表面预处理

#### 3.6.1 如何进行非铁金属表面脱脂?

同钢铁材料一样，非铁金属制品在加工、贮运过程中粘附的油污，如不除净将严重

影响表面处理质量和涂层的附着力。由于非铁金属不像钢铁那样耐强碱腐蚀，发生腐蚀的 pH 界限值较低，金属腐蚀的 pH 值界限见表 3-52。因而，宜用有机溶剂或表面活性剂法脱脂。若用碱液脱脂，应选用弱碱配方，非铁金属碱液脱脂配方见表 3-53。

表 3-52　金属腐蚀的 pH 值界限

| 金　属 | 铝 | 锌 | 铅 | 锡 | 黄铜 | 钢铁 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| pH 值界限 | 9 | 10 | 10 | 11 | 11.5 | 13.0 以上 |

表 3-53　非铁金属碱液脱脂配方

| 药品名称 | 序号 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | 含量/(g/L) | | | | | | |
| 碳酸钠($Na_2CO_3$) | 15～20 | 10～20 | 25～30 | — | — | 50～60 | 40～50 |
| 磷酸三钠($Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$) | — | 10～20 | 20～25 | — | 60～100 | 20～30 | 40～60 |
| 焦磷酸钠($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) | 10～15 | — | — | — | — | — | — |
| 水玻璃($Na_2SiO_3$) | 10～20 | 10～20 | 5～10 | 20～30 | 5～10 | — | 2～5 |
| OP-10 | 1～3 | 1～3 | — | 1～3 | 1～3 | — | — |
| 皂粉 | — | — | — | — | — | 1～2 | — |
| 海鸥洗涤剂 | — | — | — | — | — | — | 3～5mL/L |
| 使用温度/℃ | 60～80 | 60～80 | 60～80 | 70～80 | 70～90 | 70～80 | 70～90 |
| 适用范围 | 适用于铝、镁、锌、锡合金 | | | | 适用于铜合金 | 黄铜、锌、铝等 | 铝及其合金 |

非铁金属的脱脂方法与钢铁材料类似，可采用碱液法、表面活性剂法和有机溶剂法进行脱脂，其具体内容参照钢铁材料预处理工艺。

### 3.6.2　如何进行非金属表面化学除锈？

常用的几种非金属表面化学除锈工艺的配方见表 3-54。

表 3-54　常用的几种非金属表面化学除锈工艺的配方

| 金属材料 | | 除锈配方及工艺条件 |
|---|---|---|
| 种类 | 状态 | |
| 铝及其合金 | 轧制件 | 在 $CrO_3$35g/L，$H_2SO_4$(1.84)[①]172g/L，HF(1.19)[①]5g/L 的混合溶液中，于 65℃下浸(1～3)min |
| | 铸件 | 在 $HNO_3$(1.42)[①]溶液中，室温下浸 10～15s→水洗→在 NaOH45g/L 水溶液中，65～70℃下浸 10s→在 $HNO_3$(1.42)[①]3 份，HF(1.197)[①]1 份的混合酸中，室温下浸 3～5s |
| 锌及其合金 | 一般件 | $H_2SO_4$(50～100)g/L 溶液，室温下处理 <1min<br>$H_2SO_4$(1.84)∶$HNO_3$(1.42)[①]∶$H_2O$=1∶1∶10 的溶液，室温下处理 1min |
| | 铸件 | 在 $H_2SO_4$(1.84)[①]∶$HNO_3$(1.42)[①]∶$H_2O$=1∶1∶10 的溶液中，室温下处理到气体开始产生为止 |

（续）

| 金属材料 | | 除锈配方及工艺条件 |
|---|---|---|
| 种类 | 状态 | |
| 镁及其合金 | 一般件 | $CrO_3$150～250g/L 溶液，室温下处理 8～12min<br>先在用 5 倍水稀释的 $HNO_3$（1.42）[①]溶液中处理，再在用 50 倍水稀释的 $HNO_3$（1.42）[①]溶液中处理，温度为室温 |
| | 铸件 | 用 $HNO_3$15～30mL/L 的溶液，于室温下处理 1～2min |
| | 含硅合金 | 用 HF80～120g/L 的溶液，在室温下处理数秒 |
| 铜及其合金 | 一般件 | $H_2SO_4$700～850g/L，HCl2～3g/L，$HNO_3$100～150g/L 操作温度≤45℃<br>$w_{HNO_3}$（10～15）%，$w_{H_3PO_4}$（50～60）%，$w_{CrO_3}$（25～40）%，操作温度 20～60℃<br>$w_{H_2SO_4}$（5～10）%，室温下浸渍，或加热至 79℃，浸 1～15min |

① 数字为该酸的密度，单位为 $g/cm^3$。

### 3.6.3 铝及其合金表面预处理包括哪些内容？

铝在空气中会形成致密的氧化膜，具有较好的防锈性能，相对于纯铝，铝合金强度高但防锈性能稍差。且铝及其合金表面光滑，不利于涂层附着。其加工过程中，也会带来油污和灰尘，影响附着力。为了提高它们的耐蚀性，需要进行表面预处理和涂装保护。

脱脂是表面预处理的第一道工序，要注意铝表面不能用强碱清洗，一般采用有机溶剂和表面活性剂方法脱脂。

除去铝及铝合金表面锈蚀等污物时，要尽量不损伤原有完整的氧化膜，所以通常采用细砂纸或研磨膏轻轻打磨表面，必要时，采用竹片除去旧涂膜等污物。应避免使用石墨和含铜、铅等金属材料的底漆，因为这些物质在潮湿条件下会与铝表面发生不良反应，但可使用含锌的底漆，工业生产中最常用的是锌铬黄底漆。对于铝及铝合金表面，通常采用氧化方法进行防锈处理，需注意的是化学转化后表面要在 24h 内涂上底漆，以免影响涂层的附着力。

### 3.6.4 镁合金表面预处理包括哪些内容？

镁合金密度小，比强度和比刚度高，是重要的航空材料之一，但镁的化学活性很高，在潮湿和沿海地区很容易遭到腐蚀。镁合金的天然氧化膜薄而不致密，机械强度也不高，极易被破坏而再次腐蚀，而且其氧化产物为碱性，对有机涂层有较强的破坏作用。所以涂装前，必须将天然氧化膜全部除去。镁合金除了表面预处理和涂装保护外，还需增加封闭处理。

（1）油、锈及污物的清除　首先，刷洗表面的非油性污物，然后根据具体情况采用机械除锈、溶剂、碱脱脂、酸中和等方法，可以单一使用或组合使用。

（2）化学转化处理　镁合金的转化，主要采用化学或电化学氧化法，在其表面形成一层薄而均匀的氧化膜，可以大大提高镁合金的防锈能力，提高表面的耐蚀性。

（3）封闭处理　镁合金的化学稳定性较差，尤其是在水汽存在条件下极易腐蚀，

所以，在进行了化学转化处理后，还需要封闭处理。即采用耐久、耐水、柔软的树脂进行浸渍，常用的材料是环氧酚醛树脂液，封闭工艺如下：

1）干燥处理，将工件预热到100～110℃，保温10min，以除去微孔中的水分。

2）冷却至60℃±10℃，浸入环氧酚醛树脂液中，通过转动使工件各部分全部粘满树脂液，从树脂液中提出，保持15～30min，至底部不再有多余的树脂液滴下，放入130℃±5℃烘箱烘烤15min。

3）再次冷却至60℃±10℃，再浸入到树脂液中，重复进行封闭操作三次，注意控制封闭膜的厚度，控制在25μm以内。对于大型物体，可以采用喷涂的方式进行封闭操作。

（4）氧化膜的去除　对于镁合金表面不合格的氧化膜，可用化学方法去除。去膜溶液的配方及操作条件见表3-55。

**表3-55　镁合金表面处理不合格氧化膜去除溶液的配方及操作条件**

| 序　号 | 成分 | 含量/(g/L) | 操作条件 | | 适用范围 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 温度/℃ | 时间/min | |
| 1 | 氢氧化钠 | 260～310 | 70～80 | 5～15 | 化学氧化膜(一般件) |
| 2 | 铬酐 | 150～250 | 室温 | 退净为止 | 化学氧化膜(容差小的工件) |
| 3 | 铬酐<br>硝酸钠 | 100<br>5 | 室温 | 退净为止 | 碱性阳极氧化模 |
| 4 | 铬酐 | 18～250 | 50～70 | 10～30 | 酸性阳极氧化膜 |

## 3.6.5　镁合金表面脱脂的方法有哪些?

镁合金表面脱脂方法见表3-56。

**表3-56　镁合金表面脱脂方法**

| 处理类型 | 施工方法 | 应用范围 | 备　注 |
|---|---|---|---|
| 机械除锈 | 钢丝刷刷擦<br>砂纸打磨<br>轻型喷砂 | 用于除去厚的氧化物和灰尘,是一种快速处理方法 | 仅用于铸件毛坯<br>喷砂后会在表面留下砂粒,用硫酸或硝酸浸渍清除 |
| 溶剂清洗 | 溶剂漂洗<br>溶剂蒸气清洗<br>清洗剂清洗 | 在碱洗前除去过多的油污 | 适用于各种镁合金<br>所用溶剂可以是氯化烃类、汽油、喷漆稀料等 |
| 碱清洗 | 热碱溶液<br>电解 | 除去油脂和旧涂层,是应用最广泛的镁合金表面处理方法 | 适用于各种镁合金<br>所用碱液可以是碳酸钠、氢氧化钠等 |
| 酸清洗 | 浸渍 | 为碱清洗的后续工序,以清除残留碱液,防止碱液破坏涂层 | 铬酸浸渍:适用于高精度零件,不影响尺寸<br>铬酸硝酸钠:适用于锻件和挤压件,对零件有轻微腐蚀,应控制处理时间<br>硝酸:仅适用于铸件毛坯 |

### 3.6.6　镁合金表面化学转化处理方法有哪些?

1. 化学氧化法

镁合金表面化学氧化法以铬酸盐酸性氧化法最为常用。常用的化学氧化法及其优缺点见表3-57，常用的铬酸盐酸性氧化法的溶液配方及操作条件见表3-58。

**表3-57　常用的化学氧化法及其优缺点**

| 化学氧化方法 | 优　点 | 缺　点 |
|---|---|---|
| 氟氧化 | 常温氧化,膜层有较高电阻,不影响零件尺寸精度,适用于高精度零件和含铜、铝衬套的组合件 | |
| 乙酸法 | 易操作,氧化时间短,不影响零件尺寸精度 | 膜层耐蚀能力差 |
| 明矾法 | 常温氧化,氧化后零件尺寸变小,适用于各种镁合金 | |
| 重铬酸钾-硫酸锰法 | 膜层耐蚀性高,不影响零件尺寸精度 | 处理温度高 |
| 重铬酸钠-硫酸锰法 | 膜层耐蚀性高,不影响零件尺寸精度 | 处理温度高 |
| 苯钾法 | 氧化槽溶液比较稳定,适用于高精度零件和含铜、铝、镀锌、镀铬件衬套的组合件,膜层耐蚀性高 | |

**表3-58　常用的铬酸盐酸性氧化法的溶液配方及操作条件**

| 组分名称 | 序号 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | 含量/(g/L) | | | | |
| 重铬酸钾 | 15 | 30~50 | — | 30 | — |
| 重铬酸铵 | 15 | — | — | — | — |
| 重铬酸钠 | — | — | 30 | — | 180 |
| 硫酸铵 | 30 | — | 30 | 30 | — |
| 铝钾矾 | — | 8~12 | — | — | — |
| 硫酸锰 | 10 | — | — | — | — |
| 苯二甲酸氢钾 | — | — | — | 15 | — |
| 醋酸 | — | 5~8mL/L | — | — | — |
| 硫酸 | — | — | — | — | 180 |
| 氨水(30%)① | — | — | 2.6mL/L | — | — |
| 操作条件 | | | | | |
| 温度/℃ | 90~100 | 15~30 | 90~100 | 85~100 | 21~32 |
| 时间/min | 10~20 | 5~15 | 15~30 | 15~30 | 0.5~2 |

①　为质量分数。

对镁合金的锻造件进行化学氧化，其铬酸盐酸性氧化方法的工艺流程为：碱液清洗→冷水洗（去离子水）→铬酸溶液氧化→在 $NaCr_2O_7 \cdot 2H_2O$ 180g/L 和 $HNO_3$180g/L 溶液中于21~32℃浸泡处理0.5~2min→取出后在空气中停留5s→冷水淋洗→重铬酸盐封闭（在 $NaCr_2O_7 \cdot 2H_2O$ 120~180g/L，$CaF_2$ 或 $MgF_2$ 2.74g/L 溶液中于99~100℃浸泡

30min）→热水淋洗。

若处理镁合金铸造件，只需在第三步（即铬酸氧化溶液）中增加 $NaHF_2$、$KHF_2$ 或 $NH_4F_2$ 15g/L 即可，其余各步骤不变。

2. 电化学氧化方法

电化学氧化方法又称阳极氧化方法，其溶液配方及操作条件见表 3-59。

**表 3-59　镁合金电化学氧化方法的溶液配方及操作条件**

| 类型 | 组分名称 | 含量/(g/L) | 操作条件 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 最终电压/V | 起始电流/(A/dm²) | 温度/℃ |
| 酸性溶液 | 氟氢化铵<br>铬酐<br>氢氧化钠<br>磷酸(85%)① | 200～250<br>35～45<br>8～12<br>55～65mL/L | 60～100<br>（交流电） | 1～3 | 61～80 |
| 碱性溶液 | 锰酸铝钾<br>磷酸三钠<br>氟化钾<br>氢氧化铝<br>氢氧化钾 | 20～50<br>40～60<br>80～120<br>40～60<br>140～180 | 60～80<br>（交流电） | 2～5 | <40 |

① 为质量分数。

其工艺流程为：碱液清洗（选择合适的清洗溶液，在 88～100℃清洗 3～10min）→冷水淋洗→阳极氧化→冷水淋洗。

对于不能应用有机物涂饰或以提高耐蚀性为目的的工件，可增加封闭处理作为其最后一个步骤。

### 3.6.7　锌及锌合金表面预处理有哪些内容?

锌及其合金在工业上的应用主要是各种镀锌板和锌铝合金，其表面平滑，涂膜附着不牢固。又由于锌合金压铸件疏松多孔，化学稳定性较差，很容易在酸、碱性溶液中腐蚀。铸件表面存在成分偏析现象，在脱脂、活化时，会使某些偏析相优先溶解，表面产生针孔，破坏锌面与涂层的结合力。所以，通常要进行表面预处理（转化），以形成一个防止锌皂形成的保护膜，增大表面粗糙度值，提高涂层附着力。

（1）油、锈及污物的清除　用磨光、抛光等方法，去除表面的非油性污物，然后用非离子型清洗剂水溶液进行脱脂，并彻底洗净，不得残留清洗剂，或用有机溶剂脱脂，但要注意经常更换抹布，以防止重新粘污。随后使用钢丝刷和砂布进行除锈，锈蚀严重时，可采用轻微喷砂处理。

（2）清除旧漆层　根据旧漆层的实际情况采用砂纸打磨，手工工具处理或用化学、加热方法去除旧漆层，也可以选择合适的脱漆剂进行脱漆。

（3）化学转化处理　锌及其合金的转化，主要采用磷化及其后的钝化。磷化膜的主要成分都是单一的磷酸锌，磷化迅速，但会致使二次附着力较低。其钝化膜的质量为 1g/$m^2$ 左右。化学转化后的表面要在 24h 内涂上底漆，或涂磷化底漆，以免影响附着力。

（4）有机涂层　通常采用锌铬黄作底漆，或使用锌粉底漆、铅酸钙底漆和磷化底

漆。避免使用含石墨和铅、铜等金属材料的底漆和油性漆，因为这些物质或其产物在潮湿条件下，会与锌表面发生化学反应，产生针孔，破坏涂层结合力。此外，由于锌及锌合金表面疏松多孔，第一道漆应稍作稀释，一般添加总量 10% ~20%（质量分数）的稀释剂，以便更好地封闭这些微孔。

### 3.6.8 锌的钝化处理方法有哪些?

锌及其合金钝化处理的方法很多，按其处理溶液的浓度可分为低浓度、中等浓度和高浓度铬酸盐钝化处理三种。

（1）低浓度铬酸盐钝化处理　这种方法的优点是溶液中含铬量很低，可以节省大量的铬酐，废水中含铬量很少，可以减少废水处理费用，获得的钝化膜的质量与高浓度铬酸盐钝化的质量基本相同。因而实际使用中被广泛应用。其溶液配方及操作条件见表 3-60。

**表 3-60　锌及其合金低浓度钝化溶液配方及操作条件**

| 组分名称 | 序号 | | | 组分名称 | 序号 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 |
| | 含量/(g/L) | | | | 含量/(g/L) | | |
| 铬酐 | 5 | 5 | 3 | 高锰酸钾 | 0.1 | — | — |
| 硝酸钠 | — | — | 3 | 操作条件 | | | |
| 硫酸钠 | — | — | 1 | pH 值 | 0.8 ~1.3 | 0.8 ~1.3 | 1.6 ~1.9 |
| 硫酸 | 0.4mL/L | 0.3mL/L | — | 温度/℃ | 室温 | 室温 | 室温 |
| 硝酸 | 3mL/L | 3mL/L | — | 时间/min | 3 ~7 | 3 ~7 | 10 ~30 |
| 冰醋酸 | — | 5mL/L | — | | | | |

（2）中等浓度铬酸盐钝化处理　其溶液配方及操作条件见表 3-61。

**表 3-61　锌及其合金中等浓度钝化溶液配方及操作条件**

| 溶　液 | 组成/(g/L) | | | 操作条件 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 铬酐 | 硝酸 | 硫酸 | 温度/℃ | 时间/min |
| Ⅰ | 60 ~80 | 8.5 ~11.5 | 7.5 ~11 | 室温 | 10 ~20 |
| Ⅱ | 4 ~6 | 0.56 ~0.76 | 0.5 ~0.7 | 室温 | 5 ~15 |

（3）高浓度铬酸盐钝化处理　其溶液配方及操作条件见表 3-62。

**表 3-62　锌及其合金高浓度钝化溶液配方及操作条件**

| 组分名称 | 序号 | | | | 组分名称 | 序号 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 含量/(g/L) | | | | | 含量/(g/L) | | | |
| 铬酐 | 150 ~180 | 180 ~250 | 250 ~300 | — | 操作条件 | | | | |
| 硫酸 | 5 ~10 | 5 ~10 | 15 ~20 | 8 ~10 | 温度/℃ | 室温 | 室温 | 室温 | 室温 |
| 硝酸 | 10 ~15 | 30 ~35 | 30 ~40 | — | 时间/min | | | | |
| | | | | | 在溶液中浸 | 10 ~15 | 5 ~10 | 5 ~10 | 5 ~10 |
| 重铬酸钠 | — | — | — | 200 | 再在空气中停留 | 5 ~10 | 5 ~10 | 5 ~10 | 5 ~10 |

### 3.6.9　铜及铜合金的表面预处理包括哪些内容?

1. 化学氧化

铜及其合金经氧化处理能在表面生成一层薄而致密、与基体结合形成牢固的氧化膜。这种氧化膜在湿度不大的大气中具有良好的稳定性，也是有机涂膜的良好底层，可以提高涂层的耐蚀性。

2. 电化学氧化

电化学氧化的溶液组成及操作条件见表3-63。

**表3-63　电化学氧化的溶液组成及操作条件**

| 溶液组成操作条件 | 含量/(g/L) | 溶液组成操作条件 | 含量/(g/L) |
|---|---|---|---|
| 氢氧化钠 | 100～200 | 阳极电流密度/($A/dm^2$) | 0.5～3 |
| 温度/℃ | 70～90 | 阳极材料 | 不锈钢板 |
| 时间/min | 20～30 | 阴阳极面积比 | 8:1 |

实际操作时，应注意以下事项：

1）重新配制的溶液应当用铜阳极处理至浅绿色，才能进行氧化处理。

2）溶液中氢氧化钠的浓度和氧化温度应控制在规定范围的上限。

3）氧化处理所需的时间应根据电解处理的实际情况来确定。

4）在氧化处理前应先预热2～5min，然后在0.3～0.5$A/dm^2$ 的电流密度下处理10～20min，再将电流密度调至规定范围的上限，继续处理3～5min后，才能进行氧化处理。

3. 氧化膜的去除

经过氧化处理的工件，对于不合格的氧化膜可以使用下列溶液去除：

1）质量分数为10%的硫酸溶液。

2）质量分数为10%的盐酸溶液。

3）铬酐30～90g/L和硫酸15～30g/L的混合溶液。

实际使用时，可以根据实际情况合理选择。

4. 钝化处理

铜合金也可以在铬酸或重铬酸盐溶液中钝化处理，形成钝化膜，提高其防护能力。铜及其合金钝化溶液的配方及操作条件见表3-64。

**表3-64　铜及其合金钝化溶液的配方及操作条件**

| 组分名称 | 序号 | | 组分名称 | 序号 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Ⅰ | Ⅱ | | Ⅰ | Ⅱ |
| | 含量/(g/L) | | | 含量/(g/L) | |
| 铬酐 | 30～90 | — | 操作条件 | | |
| 硫酸 | 15～30 | 5～10 | 温度/℃ | 室温 | 室温 |
| 重铬酸钠 | — | 100～150 | 时间/s | 15～30 | 3～8 |
| 氯化钠 | — | 4～7 | | | |

对于不合理的钝化膜，可以用下列溶液去除。

1）质量分数为 10% 的硫酸溶液。

2）质量分数为 10% 的盐酸溶液。

3）200～400g/L 的氢氧化钠溶液。

### 3.6.10　铜及铜合金化学氧化方法有哪些?

铜及其合金可以在含氧化剂的碱溶液中或铜氨溶液中化学氧化，也可以在碱性溶液中阳极氧化。

1. 铜氨溶液处理

铜氨化学氧化溶液的配方和操作条件见表 3-65。

**表 3-65　铜氨化学氧化溶液的配方及操作条件**

| 组分名称 | 序号 | | | 组分名称 | 序号 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 |
| | 含量/(g/L) | | | | 含量/(g/L) | | |
| 碱式碳酸铜 | 80～120 | — | 40 | 操作条件 | | | |
| 碳酸铜 | — | 50～200 | — | 温度/℃ | 室温 | 15～25 | 室温 |
| 氨水(25%～28%)① | (500～1000)mL/L | 1000mL/L | 200mL/L | 时间/min | 8～15 | 5～15 | 5～15 |
| | | | | 适应范围 | 黄铜 | 黄铜 | 黄铜 |

①　为质量分数。

为了保证铜合金表面的氧化膜质量，铜合金工件氧化前应进行表面预处理。其处理溶液的配方及操作条件见表 3-66。

**表 3-66　黄铜氧化预处理溶液的配方及操作条件**

| 组分名称 | 序号 | | | 组分名称 | 序号 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ |
| | 含量/(g/L) | | | | 含量/(g/L) | | |
| 重铬酸钠 | 100～150 | | | 操作条件 | | | |
| 铬酐 | — | 30～90 | | 温度/℃ | 室温 | 室温 | 室温 |
| 硫酸 | 5～10 | 15～30 | 10% | 时间/s | 3～8 | 5～15 | 5～10 |
| 氯化钠 | 4～7 | | | | | | |

同时，为了提高氧化膜的质量，应注意：①氧化时使用的家具不可使用纯铜制造，应用铝、钢、黄铜制造；②氧化处理的时间应合理控制；③氧化后的工件应清洗干净，并在 100～110℃下烘干 30min。

2. 过硫酸盐碱性溶液氧化处理

过硫酸盐碱性溶液氧化处理的溶液配方和操作条件见表 3-67。

为了提高铜合金表面处理氧化膜的质量，应注意以下事项：

1）纯铜工件可以直接在上述溶液中进行氧化处理。而铜合金则应先镀上 3～5μm

的铜层后再进行处理。

2）氧化处理时，应控制好溶液的组分和浓度。

3）合理控制溶液的温度。

4）在氧化过程中，应不断搅拌。

5）氧化后的工件应清洗干净并烘干处理。

**表 3-67　过硫酸盐碱性溶液氧化处理的溶液配方及操作条件**

| 溶液组成操作条件 | 含量/(g/L) | 溶液组成操作条件 | 含量/(g/L) |
|---|---|---|---|
| 过硫酸钾 | 5～15 | 温度/℃ | 60～65 |
| 氢氧化钠 | 45～55 | 时间/min | 10～15 |

### 3.6.11　怎样定量评定表面可视清洁度?

钢材表面的可视清洁度主要指其表面锈蚀、氧化皮等的清洁状况。其定量评定方法一般有两种：

1）第一种方法是利用氧化皮和铁电阻不同的特点，采用电阻测量仪测定处理后的表面与探头（直径 1mm 的球形笔状电极）之间的过渡电阻，通过各点的平均值判断表面清洁度。

2）第二种方法为硫酸铜法，其内容是将硫酸铜溶液刷在处理后的钢板表面，除锈完全的部分呈金属铜的颜色，而大于 0.5mm 残留氧化皮的部分呈暗色，从而判断表面的清洁程度。

还可利用带有蓝色过滤器的光线反射测量仪进行表面清洁度。为了能正确、方便地评定钢材在除锈之后的表面处理质量，我国有相应的国家标准 GB/T 8923.1—2011、GB/T 8923.2—2008 和 GB/T 8923.3—2009。

### 3.6.12　怎样评定二次除锈表面的可视清洁度?

为了能正确评定二次除锈的质量等级，全国船舶标准化技术委员会发布了标准 CB/T 3230—2011《船体二次除锈评定等级》。

该项船舶专业标准将二次除锈前钢材表面状态分为三类（即：W—涂有车间底漆的钢材经焊接作业后，重新锈蚀的表面；F—涂有车间底漆的钢材经火工矫正后，重新锈蚀的表面；R—涂有车间底漆的钢材，因暴露或擦伤而重新锈蚀，或附有白色锌盐的表面)，然后根据以不同方式除锈之后钢材表面清洁程度，将二次除锈质量分为若干等级。其质量等级对应关系见表 3-68。

**表 3-68　二次除锈质量等级对应关系**

| CB/T 3230 | GB 8923 | CB/T 3230 | GB 8923 |
|---|---|---|---|
| b1 | Sa2.5 | p1 | St3 |
| b2 | Sa2 | p2 | |
| bs | — | p3 | St2 |

### 3.6.13　怎样评定钢材的表面粗糙度?

为了定量地描述和比较喷射除锈后钢材表面的粗糙特性，我国制定了 GB/T 13288—1991《涂装前钢材表面粗糙度等级的评定（比较样块法)》。

表面粗糙度基准样块由四个具有不同粗糙度的部分组合而成，其值和误差见表 3-69。

**表 3-69　ISO 比较样块各部分表面粗糙度**

| 部　　位 | S 样块粗糙度参数 *Ry* | | G 样块粗糙度参数 *Ry* | |
|---|---|---|---|---|
| | 公称值 | 允许误差 | 公称值 | 允许误差 |
| 1 | 25 | 3 | 25 | 3 |
| 2 | 40 | 5 | 60 | 10 |
| 3 | 75 | 10 | 100 | 15 |
| 4 | 100 | 15 | 150 | 20 |

注：1. 表中 G 样块为喷射棱角砂类磨料而获得的表面粗糙特征的样块。
2. S 样块为喷射丸类磨料而获得的表面粗糙特征的样块。
3. 粗糙度参数 *Ry* 是根据 ISO 8503—4 用触针法测量的粗糙度参数，*Ry* 系指“最大峰-谷”高度。

### 3. 6. 14　如何划分表面粗糙度等级?

表面粗糙度等级划分见表 3-70。

**表 3-70　表面粗糙度等级划分**

| 级　　别 | 代　　号 | 定　　义 | 粗糙度参数值 *Ry*/μm | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 丸状磨料 | 棱角状磨料 |
| 细细 | | 钢材表面所呈现的粗糙度小于样块区域 1 所呈现的粗糙度 | <25 | <25 |
| 细 | F | 钢材表面所呈现的粗糙度等同于样块区域 1，或介于区域 1 和 2 之间所呈现的粗糙度 | 25 ~ 40 | 25 ~ 60 |
| 中 | M | 钢材表面所呈现的粗糙度等同于样块区域 2，或介于区域 2 和 3 之间所呈现的粗糙度 | 40 ~ 70 | 60 ~ 100 |
| 粗 | C | 钢材表面所呈现的粗糙度等同于样块区域 3，或介于区域 3 和 4 之间所呈现的粗糙度 | 70 ~ 100 | 100 ~ 150 |
| 粗粗 | | 钢材表面所呈现的粗糙度等同于或大于样块区域 4 所呈现的粗糙度 | ≥100 | ≥150 |

### 3. 6. 15　表面粗糙度的评定步骤是什么?

1）清除被测工件表面的浮灰和碎屑。

2）根据所用磨料的类型，选择比较样块 G 或 S 的四个部分依次进行对比，必要时可使用放大倍数不大于 7 倍的放大镜观察。

3）按表 3-70 所示的定义确定其等级。

除上述方法外，还可直接采用数字式表面轮廓仪、带有探针和千分尺的测量仪或弹簧测微计直接测量，或截取样块后用显微镜直接观察。

### 3.6.16　怎样进行钢材表面可溶性盐分和灰尘的评定?

钢材表面存在灰尘，对于其涂层的质量有一定的影响；钢铁件经过除锈处理以后，表面还会残存无色的铁盐、氯化物等可溶性盐，这些可溶性盐在腐蚀坑的底部会破坏基体与涂层的结合。为了更好地检测和评定其清洁程度，国际标准 ISO 8502 给出了一系列检测钢材表面可溶性盐和灰尘的评定。

（1）可溶性盐的评定　对经过喷射除锈后的钢材表面残留的可溶性铁盐的检测方法及其评定结果可参照 ISO 8502—1-2001 标准。对存在于已除过锈的钢材表面上可溶性氯化物的检测方法可参照 ISO 8502—2-2005 标准。

（2）灰尘的评定　钢材表面灰尘粘污程度的检测方法及其评定标准可参照 ISO 8503—3-1992 标准。该标准把钢材表面灰尘颗粒大小和灰尘粘污程度分别分为 6 个等级。

## 3.7　非金属材料涂装前表面预处理

### 3.7.1　工业用木材怎样分类?

木材是工业上用途很广的工程材料。木材通常以树种和材料分类。按树种可分为针叶树类和阔叶树类，木材按树种分类见表 3-71。

表 3-71　木材按树种分类

| | | |
|---|---|---|
| 针叶树材 | 有树脂沟材 | 红松、黑松、五须松、云杉等 |
| | 无树脂沟材 | 杉、扁柏、花柏、枞树、石储、罗汉柏、柚等 |
| 阔叶树材 | 环孔材 | 榉、楝、木樨、梧桐、栗、榆、漆树、枹等 |
| | 散孔材 | 麻栗、桃花心木、紫檀、黑檀木、胡桃、花梨、级木、桂、朴、枫、七叶树、葛等 |
| | 其他 | 橡、柯、昆栏树等 |

木材具有很多良好的性能，其主要优点是：质量轻，强度大，电绝缘性能好，导热性低，且易于机械加工，可以钉着、榫接或胶接，具有一定的弹性，以及具备天然纹理、光泽和颜色等优点。

### 3.7.2　木材表面预处理需要解决的问题是什么?

木材的主要缺点是：容易吸水和失水，易燃烧，湿胀干缩，容易腐蚀和虫蛀，机械性质异向异性，具有节疤裂纹弯曲等天然缺陷，且不同种类的木材材质差别很大，即使同种木材因生长环境不同，其材质也会有差别，甚至同一根树干不同部位的材质也不可能完全相同。

为了获得平整光滑、颜色均匀、花纹清晰、外表美观的表面，需要对木材的表面进行表面预处理。木材表面预处理的内容主要有两部分：

1）解决木材表面的天然缺陷及加工过程带来的缺陷。例如表面的木毛刺、裂纹、虫眼、伤痕、切削刀痕、进料积压痕等。

2）解决木材表面清洁问题。例如木材表面的树脂、色素、渗胶、手垢等。

### 3.7.3　木材的表面预处理工艺是什么？

1. 干燥

对于木材基材，对涂料附着力影响最大的是含水率的多少。木材含水率高会使涂膜附着力差、起泡、开裂和脱落，必须对含水率进行严格的控制。涂漆前，应根据木材的用途将木材含水率控制在 5% ~14% 之间。湿木材的干燥可采用自然干燥，即放在通风干燥处自然晾干，或放入低温烘房进行强制烘干。

2. 去除表面缺陷

木材在加工前有许多天然缺陷，如裂纹、腐蚀发霉、虫眼、伤痕等，需采取一定的手段将其去除。

1）木材表面上大的裂缝、树脂囊、虫眼等可以采用与其纤维方向一致的同种木块填塞。

2）小裂缝可用腻子填平。

3）木节处可以涂快干漆，以防止以后渗出树脂。

4）已渗出的树脂可用酸液或溶剂擦除。

加工好的木制品表面有很多的木质纤维，它们吸收水分或溶剂后，因润湿膨胀而竖起来，形成毛刺，影响涂层的着色度、涂膜平整度，要及时去除。

一般的木制品经过几次木砂纸打磨即可，对于表面质量要求较高的木制品，则应采取下列方法除掉毛刺：

1）水润湿法。用清洁湿抹布，在木制品表面抹过，或在木制品上敷上湿的热毛巾，使毛刺吸湿膨胀，干后木毛竖起，用细砂纸打磨。

2）涂虫胶漆法。用质量分数 10% 虫胶乙醇溶液或稀释的硝基清漆涂于木制品表面，使毛刺竖起，干燥后即发脆，最后用细砂纸磨光。

3. 去污物

木制品在加工过程中难免沾污一些油脂、胶剂，这些污物会严重影响涂饰着色的均匀和涂层的固化与附着力。可根据不同污物情况加以清除。例如，弄脏的表面可以采用砂磨法去除，油迹可以采用相应的溶剂清洗去除。

4. 去松脂

松木等木材富含松脂，它会影响涂膜附着力和颜色均匀性。目前，常用的去除松脂的方法有以下两种：

（1）碱液清洗　先用质量分数为 5% ~6% 的碳酸钠溶液或质量分数为 4% ~5% 的烧碱溶液清洗，使松脂皂化，而后再用刷子或海绵去除。

（2）溶剂清洗　采用丙酮、二甲苯等有机溶剂先将松脂溶解，再用刷子去除。

采用以上方法清除松脂后，应立即刷一道虫胶漆封闭，以防止松脂再次渗出影响涂膜干燥。

5. 漂白

为使木制品涂装前表面颜色一致，通常可采用漂白的方法。具体操作如下：

（1）一般方法　取质量分数 15% 过氧化氢溶液 100g，加 5 ~7g 工业氨水，润湿木材表面，放 2 天即发白，不用漂洗可直接进行填孔涂漆。

（2）深色木材漂白　用质量分数为3%的漂白粉水溶液涂刷木材表面后，立即用60～70℃的质量分数为0.5%的乙酸水溶液反复涂刷至发白。

（3）深色硬杂木漂白　在相对湿度为95%的密封室内，燃烧硫黄产生二氧化硫气体来漂白木材表面，该方法效果好，费用低。

（4）带污迹木材漂白　先用质量分数为5%的氢氧化钠水溶液涂在需漂白的部位，干后30min用质量分数为1%的乙酸水溶液中和，然后用温水擦洗干净。

6. 着色

为了改善材料的天然颜色，需采用染料和颜料来进行染色或着色。染色可用水性、油性和醇类染色剂，它们的浸透性较强，能渗入与底材相当的深度，颜色透明。着色分颜料着色和色浆着色，它们的浸透性差，颜色缺乏透明性。油漆工使用的着色剂可以自行配制，也可以在市场上购买。着色剂可直接涂于木材表面，也可涂于涂层之间，应根据产品质量要求确定只涂底色还是在底色上涂漆后，再用染料溶液着色。

### 3.7.4　木材漂白时常用漂白剂及使用方法是什么?

木材常用的漂白剂的配方及使用方法见表3-72。

**表3-72　木材常用的漂白剂的配方及使用方法**

| 序号 | 组　成 | 使　用　方　法 |
|---|---|---|
| 1 | 过氧化氢溶液（30%）100份<br>水50～100份<br>氨水（25%）100份 | 混合溶液充分搅拌均匀后，刷涂在欲漂白的部位，放置一天。溶液氧化作用可使木材中的色素分解，退掉颜色 |
| 2 | Ⅰ液：次氯酸钠50g<br>水1000mL<br>Ⅱ液：亚硫酸钠（1～5）% | 先将Ⅰ液中的次氯酸钠溶于70℃左右的水中，再涂刷在需漂白的部位。再用Ⅱ液涂刷以中和木材中的残氯。最后用水洗净 |
| 3 | 硫黄 | 这种方法适用于小型产品。将产品置于密封容器内，在容器内燃烧硫黄，利用所产生的二氧化硫气体进行漂白 |
| 4 | Ⅰ液：碳酸钠180g/L<br>Ⅱ液：过氧化氢溶液20% | 先用Ⅰ液涂刷在需漂白的部位，放置5min，再用Ⅱ液涂刷，放置数小时，用水洗净 |
| 5 | Ⅰ液：草酸（5～10）%<br>Ⅱ液：硫酸钠5% | 先用Ⅰ液涂刷在需漂白的部位，放置10～20min，再用Ⅱ液涂刷，进行中和，然后用水洗净 |
| 6 | Ⅰ液：氢氧化钠50g/L<br>Ⅱ液：冰醋酸20%<br>Ⅲ液：盐酸1% | 先用Ⅰ液涂刷在需漂白的部位，放置5min后，再用Ⅱ液或Ⅲ液进行中和，然后用水洗净 |
| 7 | Ⅰ液：碳酸钠20g/L<br>水（50℃～60℃）120mL<br>Ⅱ液：过氧化氢溶液（35%）80mL<br>水20mL | Ⅰ液，Ⅱ液可单独使用，或Ⅰ液与Ⅱ液混合使用（等量混合）<br>将溶液涂刷在需漂白的部位，使其浸透，放置数分钟到数十分钟，再用湿布抹净 |

实际使用时，应注意以下事项：

1）防止漂白剂分解失效。

2）选用适当的配方。

3）漂白后应擦洗干净。

4）漂白时应注意防腐蚀。

### 3.7.5　底材着色时常用着色剂的种类和特征有哪些？

底材着色剂的种类和特征见表 3-73。

表 3-73　底材着色剂的种类和特征

| 种类 | 着色物质 | 溶剂 | 优　点 | 缺　点 | 施工方式 |
|---|---|---|---|---|---|
| 水性染色剂 | 直接染料<br>酸性染料<br>碱性染料<br>分散染料 | 水 | 无有机溶剂气味，无火灾危险，操作简便。色调好，分散染料耐光性好 | 使底材起毛，干燥较慢，碱性染料耐光性稍差 | 刷涂<br>喷涂<br>浸涂 |
| 油性染色剂 | 油溶性染料 | 矿油精 | 不引起底材起毛，具有浸透性，能深入底材一定深度 | 干燥较慢，耐光性较差，会渗入上面涂层 | 刷涂<br>喷涂<br>浸涂 |
| 醇类染色剂 | 醇溶性染料<br>（碱性染料等） | 甲醇<br>乙醇 | 色泽鲜艳，干燥快，浸透性好 | 使底材起毛，容易产生颜色不均匀。耐光性差，稍有点渗。价格高 | 最适于喷涂 |
| 颜料染色剂 | 有色颜料 | 水<br>矿油精 | 耐光性、耐热性好，颜色均匀 | 浸透性差，干燥慢，缺乏透明性 | 刷涂<br>喷涂 |
| 药品着色 | 木醋酸铁<br>石灰<br>苏木等 | 水 | 色调中等，耐光性好，不会产生污点、剥落 | 材质不同，发色不同难实现要求的发色，操作复杂，使底材粗糙 | 刷涂 |
| 色浆染色剂 | 颜料<br>染料<br>涂料 | 甲苯<br>二甲苯 | 可用作底材和涂层着色。操作简便 | 价格较高 | 刷涂<br>喷涂 |
| 火力着色 | 高温熨斗烙印等 | | 耐光性极佳 | 木材容易弯曲，偏位 | 属特殊着色 |

### 3.7.6　工业上常用的塑料如何分类？

常用的塑料分类方法有两种：

1）按照塑料的应用范围分：①通用塑料，是指产量大、价格低、通用性强，用途广泛的塑料；②工程塑料，是指力学性能较好，可以代替金属用作工程结构材料的一类塑料。

2）按照树脂受热时的特性分：①热塑性塑料是由可以多次反复加热仍具有可塑

性的树脂所制得的塑料，可以多次反复加热重塑，其基本性能不变；②热固性塑料是由受热而能固化成不溶物质的树脂所制得的塑料，它不能再加热熔融重新制作其他制品。

### 3.7.7　工业上的常用塑料及其特性是什么？

常用塑料的特性见表 3-74。

**表 3-74　常用塑料的特性**

| 序号 | 品种名称及代号 | | 热变形温度/℃（1.86MPa） | 连续使用温度/℃ | 线胀系数/$10^{-5}$℃$^{-1}$ | 伸张强度/(N/cm$^2$) | 结晶度 | 极性 | 溶解度参数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 ABS | 耐热型 | 96～118 | 87～110 | 6.0～9.0 | 4500～5700 | — | — | — |
| | | 中抗冲型 | 87～107 | 71～93 | 5.0～8.5 | 4200～6200 | | | |
| | | 高抗冲型 | 87～103 | 71～99 | 9.5～10.5 | 3500～4400 | | | |
| 2 | 聚氯乙烯 PVC | 硬质 | 55～75 | 55～80 | 5.0～18.5 | 3520～5000 | 中等 | 小 | 9.5～9.7 |
| | | 软质 | — | 55～80 | 7～25 | 1050～2460 | | | |
| 3 | 聚乙烯 PE | 低压 | 30～55 | 121 | 12.6～18 | 700～2400 | 大 | 小 | 8.0 |
| | | 超高相对分子质量 | 40～50 | — | 7.2 | 3000～3400 | | | |
| | | 玻纤增强 | 126 | — | 3.1 | 8400 | | | |
| 4 | 聚丙烯 PP | 纯料 | 55～65 | 121 | 10.8～11.2 | 3500～4000 | 大 | 小 | 7.8～8.0 |
| | | 玻纤增强 | 115～155 | 155～165 | 2.9～5.2 | 5500～7700 | | | |
| 5 | 聚苯乙烯 PS | 纯料 | 65～96 | 60～75 | 6～8 | 3500～8400 | 小 | 稍大 | 8.7～9.1 |
| | | 改性(204) | — | 60～96 | — | ≥5000 | | | |
| | | 玻纤增强 | 90～105 | 82～93 | 3.0～4.5 | 6000～10500 | | | |
| 6 | 聚甲基丙烯酸甲酯 PMMA | 浇注料 | 95 | 68～90 | 7 | 5600～8120 | 小 | 稍大 | 9.0～9.5 |
| | | 模塑料 | 95 | 65～90 | 5～9 | 4900～7700 | | | |
| 7 | 聚碳酸酯 PC | 纯料 | 85 | 120～130 | 5～7 | 6600～7000 | — | — | — |
| | | 玻纤增强 | 230～245 | 180 | 2.1～4.8 | 9800～14800 | | | |
| 8 | 聚甲醛 POM | 均聚型 | 124 | 90 | 7.45～10.8 | 6700～7700 | — | — | — |
| | | 共聚型 | 110～157 | 104 | 7.6～11 | 5400～7700 | | | |
| | | 玻纤增强 | 150～175 | 80～100 | 3.4～4.27 | 12600 | | | |
| 9 | 聚苯醚 | 纯料 | 185～193 | 185～220 | 5～5.6 | 6650～7700 | — | — | — |
| | | 改进 | 169～190 | 100～130 | 6～6.7 | 6700 | | | |
| 10 | 尼龙 66 | 未增强 | 66～86 | 80～120 | 9.0～10.0 | 10000～11000 | 大 | 较大 | 12.7～13.6 |
| | | 玻纤增强 | 110 | 85～150 | 1.2～3.2 | 12600～28000 | | | |

（续）

| 序号 | 品种名称及代号 | | 热变形温度/℃（1.86MPa） | 连续使用温度/℃ | 线胀系数/$10^{-5}$℃$^{-1}$ | 伸张强度/（$N/cm^2$） | 结晶度 | 极性 | 溶解度参数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 尼龙 1010 | 未增强 | 45 | 80～120 | 10.5～16 | 8200～8900 | — | — | — |
| | | 玻纤增强 | 180 | — | 3.1 | 11000～31000 | | | |
| 12 | 氟塑料 | F-4 | 55 | 250 | 10～12 | 2100～2800 | — | — | — |
| | | F-46 | 54 | 205 | 8.3～10.5 | 1900～2000 | | | |
| 13 | 酚醛 | — | 150～190 | — | 0.8～4.5 | 3200～6300 | 较小 | 中 | 10.5～11.5 |
| 14 | 脲醛 | — | 125～145 | — | 2.2～3.6 | 3800～9100 | 小 | — | 9.6～10.1 |
| 15 | 三聚氰胺 | — | 130 | — | 2.0～4.5 | 3800～4900 | 小 | — | 9.6～10.1 |
| 16 | 环氧 | — | 70～290 | — | 2～6 | 1500～7000 | 小 | — | 9.7～10.9 |

### 3.7.8　塑料制品进行表面预处理目的是什么?

塑料由于质轻、机械加工性能优良（较好的减摩、耐磨和自润滑性能）及具有其他独特的物理化学性能（对酸、碱、有机溶剂具有较高的耐腐蚀能力）而被广泛使用。但通常塑料制品因结晶度大，极性小，且加工贮运过程中也存在污染，影响涂层与塑料的附着力。因此，涂装前应进行基体调整和表面处理，才能获得满足要求的涂装质量。

塑料制品进行表面处理的目的和作用内容如下：

（1）修理缺陷　其目的是通过打磨、涂底漆等表面处理过程，去除毛刺、针孔、裂缝等缺陷。

（2）除去表面静电和灰尘　其目的是通过溶剂擦洗、高压空气吹干等表面处理，创造一个清洁的被涂塑料表面。

（3）封闭　其目的是通过涂底漆等表面处理过程，阻止塑料中增塑剂的迁移，保证涂膜的涂装质量和塑料基材的性能不发生变化。

（4）清除脱模剂　其目的是通过溶剂擦洗、碱水洗等表面处理，消除塑料中对涂膜附着危害极大的和在塑料成型过程中添加的各种脱膜剂，使涂膜牢固附着。

（5）表面改性　其目的是通过打磨、表面活性剂处理、火焰处理、电处理等表面处理过程，使附着面积增大或使表面产生有利于涂膜附着的化学物质或化学键，增强涂膜的附着力。

### 3.7.9　塑料制品进行表面预处理的内容有哪些?

1. 去应力

（1）用溶剂降低应力　其方法是在塑料表面喷涂适当的溶剂，使得高应力区在溶剂的作用下发生应力释放，从而使得整个表面应力趋向均匀。常用溶剂的基本组成（质量分数）是：乙酸丁酯 45%，乙酸乙酯 25%，醇类 15%，其他 15%。

（2）退火去应力　其方法是控制温度在塑料的热变形温度低 10℃的温度下，对塑

料制品进行退火处理。

2. 清除表面污物

常用的清洗方法如下：

1） 溶剂清洗。

2） 用中性或碱性清洗剂清洗。

3） 砂纸打磨。

3. 去静电

去静电的方法有：

1） 在不影响涂层的粘附前提下，在塑料制品表面涂防静电液。

2） 压缩空气通过火花放电装置使空气离子化，再吹塑料表面，既能除尘又能除静电。

3） 在不影响涂层的粘附前提下，在塑料中添加防静电剂，再制造成品。

4. 表面改性

（1） 机械处理法　其主要内容是使用带有棱角的磨料在压缩空气推动下高速冲击塑料制品表面，该种方法适用于厚壁制品。

（2） 溶剂浸蚀法　即对不同的塑料用相应的有机溶剂来处理。例如用三氯甲烷、酮、酯、甲苯等处理聚碳酸酯塑料，用丙酮、环己酮、甲苯等处理聚氯乙烯，用某些脂肪烃、甲苯、三氯乙烷等处理聚烯烃塑料。

（3） 化学氧化处理　其溶液配方及操作条件见表 3-75。

**表 3-75　塑料制品化学氧化处理溶液配方及操作条件**

| 药品 | | 序号 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 含量(%) | | | | |
| 重铬酸钾 | | 4.5 | 7 | — | — | — |
| 硫酸(96%以上) | | 88.5 | 93 | 200mL/L | — | — |
| 铬酸 | | — | — | 420g/L | — | — |
| 对甲苯磺酸 | | — | — | — | 0.3 | — |
| 氯乙烯 | | — | — | — | 95.7 | — |
| 二氧杂环己烷 | | — | — | — | 3 | — |
| 硅藻土 | | — | — | — | 1 | — |
| 磷酸 | | — | — | — | — | 40 |
| 水 | | 余量 | — | — | — | 余量 |
| 操作条件 | 温度/℃ | 100 | 50~60 | 65~70 | 80~120 | 30 |
| | 时间/min | 5 | 5~10 | 5~10 | 0.2~0.5 | 10 |
| | 适用范围 | PP,PE | PP 及其他 | ABS | POM | 尼龙 |

（4） 火焰处理　其方法是利用可燃气体的氧化焰处理塑料制品的表面，通过增大

塑料制品的表面粗糙度值和极性，提高涂层的附着力。在实际操作时，应保持空气过量，保证火焰燃烧完全，同时火焰温度应保持在1000～2500℃，处理时间尽量缩短。

（5）紫外线照射　其方法是利用高能量短波紫外线照射处理，使得塑料表面生产极性基因，提高涂层的附着力。紫外线处理适用于板状制品，对形状复杂的制品效果不佳。实际操作时应戴防护眼镜，且应具有排气设备，以排除臭氧。

（6）电晕处理　又称电火花处理，其方法是利用尖端型和狭缝型电极，通过施加高电压的方法使得空气电离产生臭氧，通过臭氧使得塑料表面发生氧化，增加表面极性，同时通过电场中产生的动态电子冲击塑料表面，增大表面粗糙度值，提高涂层的附着力。

（7）低温等离子体处理　其方法是使用高频率，微波等在13～133Pa的压力下产生的低温等离子体作用到塑料表面，通过电离状态的气体和紫外线等能量的作用，使塑料表面发生化学变化，提高涂层的附着力。实际使用时，应根据不同种类的塑料使用不同的等离子体：

1）对聚乙烯塑料，用氧等离子体、惰性气体等离子体处理的效果好。

2）对聚丙烯塑料，用氧等离子体处理的效果较好，而用惰性气体等离子体处理的效果不好。

（8）表面接枝　在塑料表面用接枝聚合反应，可以引入极性基团，改变表面化学结构，提高涂层的附着力。可采用触媒法、氧化法、光照法或放射线法进行接枝反应。接枝法适用于表面极性小的聚烯烃和氟塑料。

### 3.7.10　橡胶材料如何分类？

橡胶根据来源一般分为天然橡胶和合成橡胶。橡胶的种类很多，按其结构类型分类见表3-76。

**表3-76　橡胶的分类**

| 橡胶种类 | 主要结构类型 |
|---|---|
| 天然橡胶 | 聚异戊二烯类 |
| 丁苯橡胶、丁二烯橡胶、异戊橡胶、乙丙橡胶、丁基橡胶 | 聚烯烃类 |
| 氯丁橡胶、丙烯酸酯橡胶、丁腈橡胶、氯化聚乙烯橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶 | 乙烯基类 |
| 聚氨酯橡胶、硅橡胶、氟橡胶、聚硫橡胶、氯醚橡胶 | 特种橡胶 |
| 端烃基聚丁二烯液体橡胶、液体氯丁橡胶 | 液体橡胶 |
| 热塑性乙丙橡胶、SBS类苯乙烯热塑性弹性体、聚酯类弹性体 | 热塑性弹性体 |

### 3.7.11　橡胶材料进行表面预处理有哪些内容？

在涂装过程中，由于橡胶其材料结构导致的表面特性（表面张力小）及加工方法等产生的表面状态的多样性和复杂性，使橡胶制品涂装前的表面处理更加重要。

对橡胶材料进行表面处理的目的是提高涂层在其表面的附着力，其主要内容：

1）消除表面静电，除去吸附的灰尘。

2）清除脱膜剂。

3）修理加工产生的表面缺陷。

4）增加表面积，提高表面粗糙度值。

### 3.7.12　橡胶材料表面预处理方法有哪些？

对橡胶材料通常采用的表面处理方法主要有机械打磨法、溶剂处理法、偶联剂处理法、氧化法和等离子处理法等。

1. 机械打磨法

机械打磨法是最经济最简单的橡胶表面处理方法之一。其主要方法内容是通过打磨将表面灰尘、老化的表面层、残留在表面及渗出表面的脱模剂全部打磨掉。

通过采用不同粒度的砂布可使表面产生一定的粗糙度，提高了基材的表面积，使涂料有一定的锚固效果，从而提高涂层的附着力。

机械打磨法的缺点是产生一定量的橡胶粉粒，易形成二次污染，因此在打磨后一定要将表面用吸尘器或压缩空气吸吹干净。

2. 溶剂处理法

与机械打磨法一样，溶剂处理法也是橡胶表面处理中最简单和最有效的物理处理方法之一。处理时选择适当的溶剂对底材表面处理质量至关重要，不同的橡胶材料可选择不同的溶剂体系。例如：

1）丁苯橡胶、氯丁橡胶和天然橡胶可采用甲苯、二甲苯或200#溶剂汽油等溶剂。

2）聚氨酯橡胶和丁基橡胶一般采用甲乙酮、丙酮、二氯乙烷等溶剂处理。

同时为了达到良好的处理结果，采用混合溶剂也是一种有效的方法。

3. 偶联剂处理法

在橡胶表面采用偶联剂处理法，其主要操作内容是通过使用带有极性基团的偶联剂，在涂料和橡胶底材间建立连接的桥梁，从而达到增加涂层附着力的目的。

偶联剂处理法在涂料和胶粘剂工艺中应用广泛。必须注意的是，使用偶联剂处理方法时，常常通过化学方法（如酸浸渍）使橡胶表面产生可与偶联剂反应的羟基、羧基、氨基等活性基团，然后方可进行偶联剂表面处理。因此，偶联剂法处理会大大增加涂装施工成本，实际选用时应合理选择。

4. 氧化处理法

氧化处理法的主要内容是通过氧化等反应（用火焰或强氧化剂对橡胶表面进行氧化处理，如硫酸、硝酸或次氯酸等）在橡胶底材表面引入极性基因（如羟基、羧基及羰基等），从而增加橡胶表面的极性，改进涂料对底材表面的润湿性，提高涂层的附着力；同时通过对橡胶表面侵蚀，产生多孔性结构，也进一步增加涂层的附着力。

用氧化处理方法时，应特别注意处理液的组成、处理温度、时间等条件，而且由于不同的制品、不同的涂料要求不同，需进行优化试验确定。因此，经处理过的表面应尽快进行涂装，避免由于长时间放置后表面失去活性；更不得用手去接触已处理过的表面。

5. 等离子处理方法

等离子体方法，又称电处理方法，其基本操作内容是用射频能量的离子化气体，在

低压下于密封腔中对橡胶表面进行处理，使橡胶表面产生氨基、羟基等活性基团，通过显著降低橡胶表面润湿接触角，同时使得橡胶表面产生微观打毛的效果，从而大大提高涂料的附着力。

根据等离子处理方法产生等离子体的方式不同及表面处理方法不同，又分为辉光放电处理法、等离子体喷枪表面处理法、等离子表面聚合物处理法和电晕处理法等。等离子体表面处理法的特点是效率高，可连续化生产，但对大件物体使用这种方法，目前工艺上还有一些困难。

### 3.7.13　墙体材料的表面预处理内容有哪些?

墙体材料表面处理的原则是：创造一个清洁、干燥、中性、平整的基体面。

1. 混凝土、水泥及水泥砂浆材料的表面处理

混凝土、水泥及水泥砂浆材料的特点是干燥速度慢、吸水率高、表面粗糙、碱性强，因此一般处理步骤如下：

1）脱脂，用温碱水或清洗剂去除表面油脂等污物，然后用清水清洗干净。

2）表面清洁，用硬毛刷或者钢丝刷去除表面泛碱物、灰浆和其他疏松物质。

3）控制 pH 值，采用酸洗或酸蚀的方法控制其 pH 值小于 8。

4）消光处理，通过打磨、酸蚀或者涂刷处理液的方法使得表面变粗糙，提高涂层附着力。

5）空隙处理，根据使用环境的不同，选择合理的材料将混凝土等表面的气穴和孔洞填平。室外和潮湿环境用水泥或有机腻子填平，室内干燥环境可以用石膏或聚合物腻子填平。

2. 砖、石类材料的表面处理

砖、石类材料的特点是多孔、渗透性强，且基层中的碱和可溶性盐分容易析出，因此一般处理步骤如下：

1）脱脂。

2）表面清洁。

3）打磨。

4）修补，用腻子等修补孔洞、裂缝等缺陷。

3. 石灰、石膏材料的表面处理

石灰、石膏材料的表面处理的一般步骤如下：

1）表面清洁。

2）修补，可用石灰∶石膏 =1∶2 的混合物对小裂缝进行修补和用于表面平整，用水泥∶砂∶石灰 =1.5∶7∶0.1 的混合物对大裂缝和孔洞进行修补。

3）中和（控制 pH 值），先用质量分数 15% 的磷酸刷洗，搁置 10min 后再用清水清洗干净。

4. 石棉水泥材料的表面处理

石棉水泥材料的一般处理步骤如下：

1）表面清洁。

2）修补，用有机腻子或质量分数为 10% 的乳胶的水泥进行修补。

# 3.8　典型涂装预处理工艺

## 3.8.1　汽车制动泵涂装预处理工艺是什么?

汽车制动泵涂装预处理工艺见表 3-77。

**表 3-77　汽车制动泵预处理工艺**

| 序号 | 工艺名称 | 工艺药品 | 配槽浓度/(kg/L) | 主要控制参数 | 温度/℃ | 时间/min | 方式 | 压力/MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 脱脂 | YT-1 | 50 | FAL15 | 55~65 | 5 | 浸 | |
| 2 | 水洗 | — | — | — | 室温 | 1 | 浸 | |
| 3 | 除锈 | 硫酸 | 硫酸浓度 10%~20% | 15% | 70 | 10~20 | 浸 | |
| 4 | 水洗 | — | — | — | 室温 | 1 | 浸 | |
| 5 | 中和、表面调整 | 钛酸盐 | 5~10 | | 室温 | 0.5 | 喷 | 0.1~0.2 |
| | | $Na_2CO_3$ | 10~15 | | | | | |
| 6 | 磷化 | Y864 | 38 | TA18~20 | 55±3 | 2 | 喷 | 0.1~0.15 |
| | | 亚硝酸钠 | 0.38 | FA2~5 | | | | |
| 7 | 水洗 | — | — | — | 室温 | 0.5 | 喷 | 0.1~0.2 |
| 8 | 水洗 | — | — | — | 室温 | 0.5 | 喷 | 0.1~0.2 |
| 9 | 干燥 | — | — | — | 120~140 | 15 | | — |

注：FAL—游离碱度；TA—总酸度；FA—游离酸度。

## 3.8.2　冰箱箱体涂装预处理工艺是什么?

冰箱箱体涂装预处理工艺见表 3-78 所示。

**表 3-78　冰箱箱体涂装预处理工艺**

| 序号 | 工艺名称 | 工艺药品 | 配槽浓度/(kg/L) | 主要控制参数 | 温度/℃ | 时间/min | 方式 | 压力/MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 预脱脂 | FC-4328 | 5~10 | FAL10~12 | 50~60 | 1 | 喷 | 0.5 |
| 2 | 脱脂 | FC-4328 | 20~30 | FAL18~19 | 50~60 | 2 | 喷 | 0.1~0.15 |
| 3 | 水洗 | — | — | — | 室温 | 0.5 | 喷 | 0.15~0.2 |
| 4 | 水洗 | — | — | — | 室温 | 0.5 | 喷 | 0.15~0.2 |
| 5 | 表面调整 | PL-Z | 3~5 | pH9~9.5 | 室温 | 0.5 | 喷 | |
| 6 | 磷化 | PB-3100 | 25~30 | TA14~16 | 40~50 | 2~3 | 喷 | 0.1~0.15 |
| | | NaOH | 0.5~0.7 | FA0.5~1.5 | | | | |
| | | AC-131 | 1~2 | | | | | |
| 7 | 水洗 | — | — | — | 室温 | 0.5 | 喷 | 0.15~0.2 |
| 8 | 水洗 | — | — | — | 室温 | 0.5 | 喷 | 0.15~0.2 |
| 9 | 纯水洗 | — | — | $K \leqslant 0.5\mu S/cm$ | 室温 | 0.5 | 喷 | 0.1~0.15 |
| 10 | 干燥 | — | — | — | 120~140 | 10~12 | | — |

注：FAL—游离碱度；TA—总酸度；FA—游离酸度；*K*—电导率。

### 3.8.3　打气筒筒体涂装预处理工艺是什么?

打气筒筒体涂装预处理工艺见表 3-79。

表 3-79　打气筒筒体预处理工艺

| 序号 | 工艺名称 | 工艺药品 | 配槽浓度 /(kg/L) | 主要控制参数 | 温度 /℃ | 时间 /min | 方式 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 除锈脱脂 | 表面活性剂<br>硫酸 | 10 ~ 20<br>10% ~20% | 硫酸浓度<br>10% ~20% | 60 ~ 70 | 10 ~ 15 | 浸 |
| 2 | 水洗 | — | — | — | 室温 | 1 | 浸 |
| 3 | 中和<br>表调 | PL-VM<br>$Na_2CO_3$ | 5 ~ 10<br>10 ~ 15 | pH9.5 ~ 10 | 室温 | 1 | 浸 |
| 4 | 磷化 | PB-139<br>NaOH<br>AC-131 | 30 ~ 40<br>0.4 ~ 0.7<br>1 ~ 2 | TA17 ~ 19<br>FAL0.8 ~ 1.2<br>FA2 ~ 3 | 50 | 5 | 浸 |
| 5 | 水洗 | — | — | — | 室温 | 1 | 浸 |
| 6 | 干燥 | — | — | — | 120 ~ 140 | 10 ~ 12 | |

# 第 4 章　涂 装 方 法

## 4.1　刷涂及滚刷涂

### 4.1.1　什么是刷涂?

刷涂是一种使用最早和最简单的涂装方法，适用涂料的品种多。其操作是手工用毛刷蘸上或由供给泵供给涂料，按一定的操作方法，将涂料刷涂在被涂工件表面上，经干燥形成涂膜。

刷涂的主要特点有：①设备简单，适应性强，适用于涂刷各种形状的被涂工件，适用涂料的品种多，几乎所有的涂料都可以采用刷涂法进行施工；②由于所用设备及工具纯属手工操作，劳动强度大，生产效率低，涂膜质量不高，涂膜的外观、刷涂效率和涂料的使用量在很大程度上取决于操作者的素质。

刷涂主要适用于装饰性要求不高的各种形状和大小的工件涂装，如机械设备、船舶、车辆、木器、家具、建筑工程等。

### 4.1.2　刷涂的一般操作步骤是什么?

刷涂前，先将漆刷蘸上涂料，需使涂料浸满全刷毛的 1/2，漆刷蘸附涂料后，应在涂料桶边沿内侧轻拍一下，以便理顺刷毛，并去掉蘸附过多的涂料。

刷涂通常按涂布、抹平、修整三个步骤进行，如图 4-1 所示。①涂布是将漆刷刷毛所含的涂料，涂布在漆刷所及范围内的被涂物表面，漆刷运行轨迹可根据所用涂料在被涂物表面流平情况，保留一定的间隙；②抹平是将已涂布在被涂物表面的涂料展开抹平，将所有保留的间隔面都覆盖上涂料，不使露底；③修整是按一定方向刷涂均匀，消除刷痕与漆膜厚薄不均的现象。

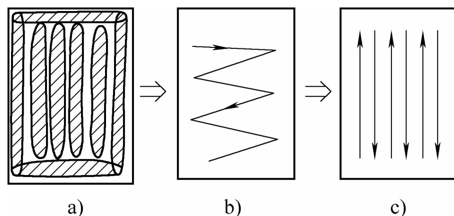



图 4-1　刷涂步骤
a）涂布　b）抹平　c）修整

### 4.1.3　如何刷涂快干涂料?

刷涂硝基纤维涂料等快干涂料时，只能采用一步完成的方法，不能按照涂布、抹平、修整三个步骤进行。由于快干涂料干燥速度快，不能反复刷涂，必须在将涂料涂布在被涂物表面的同时，尽可能快地将涂料抹平、修整好漆膜，漆刷运行宜采用平行轨迹，并重叠漆刷 1/3 的宽度，其方法如图 4-2 所示。

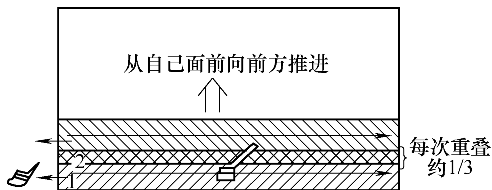



图 4-2　快干涂料刷涂方法

### 4.1.4　刷涂的注意事项是什么?

1）刷涂时漆刷蘸涂料、涂布、抹平、修整这几个操作步骤应该是连贯的，不应该有停顿的间隙。熟练的操作者可以将涂布、抹平、修整三个步骤融合为连续的一步完成。

2）涂布、抹平、修整三个步骤应纵横交替的刷涂，但被涂物的垂直面，最后一个步骤应沿着垂直方向进行竖刷。木质被涂物最后一个步骤应与木纹同一方向刷涂。

3）在进行涂布和抹平操作时，漆刷要求处于垂直状态，并用力将刷毛大部分贴附在被涂物表面，但在修整时，漆刷应向运行的方向倾斜，用刷毛的前端轻轻地刷涂修整，以便达到满意的修整效果。

4）漆刷每次的涂料蘸附量最好基本保持一致，只要漆刷的规格选用得当，漆刷每次蘸附的涂料刷涂面积也能基本保持一致。

5）仰面刷涂时，漆刷蘸附涂料要少一点，刷涂时用力也不要太重，漆刷运行也不要太快，以免涂料掉落。

6）刷涂面积较大的被涂物时，通常应先从左上角开始刷涂，每沾一次涂料后按照涂布、抹平、修整三个步骤完成一块刷涂面积后，再蘸涂料刷涂下一块刷涂面积。

### 4.1.5　刷涂用工具的种类有哪些?

漆刷是刷涂的主要工具，其种类繁多，施工时可按施工对象确定使用的漆刷的尺寸和形状。按漆刷原毛可分为硬毛刷和软毛刷两类，硬毛刷多是由猪鬃或马鬃制作的，软毛刷多是由羊毛制作，也有用狸毛、狼毛制作的。按漆刷的形状分为扁形刷、板刷、歪柄刷、排笔刷、棕丝刷、扁形排笔刷、圆形刷等，如图 4-3 所示。

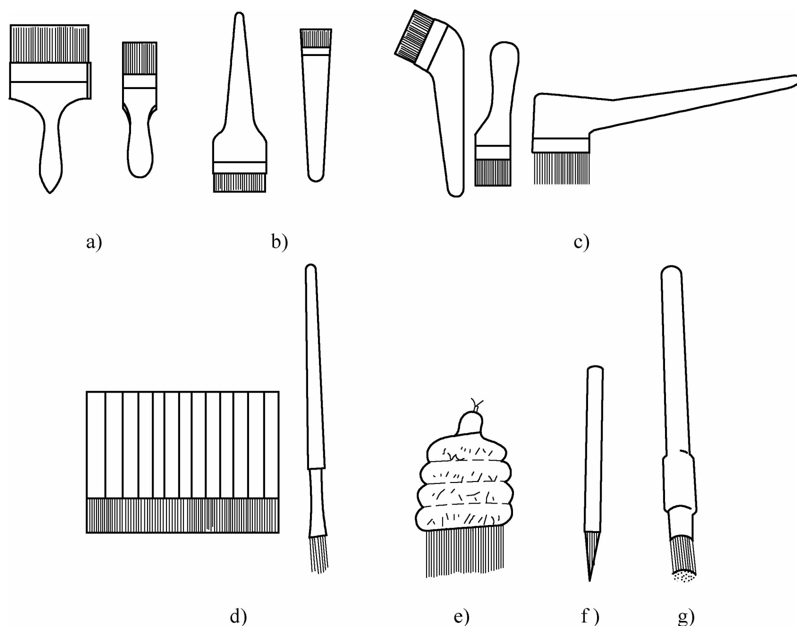



图 4-3　常用漆刷

a）扁形刷　b）板刷　c）歪柄刷　d）排笔刷　e）棕丝刷　f）扁形排笔刷　g）圆形刷

### 4.1.6　常用漆刷的构造及特点是什么?

常用漆刷的构造及特点见表4-1。

**表4-1　常用漆刷的构造及特点**

| 漆刷种类 | 构　　造 | 特　　点 |
| --- | --- | --- |
| 扁形刷 | 由木柄、刷毛和薄铁卡箍构成。按刷毛宽度分为25mm、38mm、50mm、75mm等多种规格 | 适应性强、最常用,可用于刷涂多种涂料 |
| 圆形刷 | 由圆形木柄、刷毛和薄铁卡箍构成,刷毛多采用猪鬃制作,其规格以刷毛的直径表示 | 配合扁形刷使用,用于刷涂形状复杂的部位 |
| 板刷 | 由薄板刷柄、刷毛、薄铁卡箍构成,分硬毛和软毛两种,刷毛采用猪鬃或羊毛制作,刷毛较薄 | 可代替扁形刷使用,适用于涂装质量要求较高的场合 |
| 扁形笔刷 | 由木质笔杆、刷毛和薄铁卡箍构成,刷毛采用羊毛或猪鬃制作,按刷毛的不同规格有2~12mm多个品种 | 用于描绘线条和图案 |
| 歪柄刷 | 由歪木柄、刷毛、薄铁卡箍构成,刷毛呈扁形,歪木柄通常偏歪45°,木柄较长 | 配合扁形刷使用,用于刷涂扁形刷不易刷涂的部位 |
| 排笔刷 | 将刷毛粘结固定在竹管口子一端,形状似毛笔,然后将一定数量的单个竹管刷串扎成不同规格的排笔刷。排笔刷采用羊毛制作,常见的有4管、6管、8管、10管、12管等几种规格 | 适用于建筑行业刷涂大面积墙面 |

### 4.1.7　常用涂料的刷涂粘度是多少?

常用涂料的刷涂粘度见表4-2。

**表4-2　常用涂料的刷涂粘度**

| 涂 料 品 种 | 刷涂粘度/s① | 涂 料 品 种 | 刷涂粘度/s① |
| --- | --- | --- | --- |
| 油基涂料 | 50~60 | 虫胶漆 | 10~20 |
| 天然树脂涂料 | 40~60 | 过氯乙烯树脂漆 | 20~25 |
| 酚醛树脂漆 | 40~50 | 氨基烘干磁漆 | 30~35 |
| 醇酸树脂漆 | 30~40 | 热固性丙烯酸树脂漆 | 30~40 |
| 硝基漆 | 15~25 | | |

①　采用涂-4粘度计，在20℃时测得。

### 4.1.8　漆刷的选用原则是什么?

漆刷的选用原则见表4-3。

**表4-3　漆刷的选用原则**

| 选 用 原 则 | 选 择 内 容 |
| --- | --- |
| 注意漆刷的质量 | 1. 刷毛前端要整齐<br>2. 刷毛粘结牢固,不掉毛 |
| 适应涂料的特性 | 1. 粘度高的涂料可选用硬毛刷,如扁形硬毛刷、歪柄硬毛刷<br>2. 粘度低的涂料,如清漆,可选用刷毛较薄的硬毛或软毛板刷<br>3. 水性涂料需选用含涂料好的软毛刷,如羊毛板刷和排笔刷 |

（续）

| 选用原则 | 选择内容 |
| --- | --- |
| 适应被涂物的状况 | 1. 一般被涂物的平面或曲面部位，可按照涂料特性选用扁形刷、板刷或排笔刷<br>2. 被涂物表面面积大的选用刷毛宽的漆刷，面积小的选用刷毛窄的漆刷<br>3. 被涂物的隐蔽部位或操作者不易移动站立位置时，可选用长歪柄刷<br>4. 表面粗糙的被涂物，如铸件，可选用圆形刷，因圆形刷含漆量多，易使涂料浸润粗糙的表面，并渗入孔穴<br>5. 描绘线条和图案可选用扁形笔刷 |

### 4.1.9　刷涂时漆膜的常见缺陷及改进方法是什么？

刷涂时漆膜的常见缺陷及改进方法见表 4-4。

**表 4-4　刷涂时漆膜的常见缺陷及改进方法**

| 缺陷 | 原因 | 改进方法 |
| --- | --- | --- |
| 针孔 | 1. 漆刷的刷毛蘸附有水分<br>2. 漆刷的刷毛含有较多的低沸点溶剂<br>3. 刷涂时涂料抹平后，修整用力过大 | 1. 刷涂前应将漆刷刷毛蘸附的水分除净<br>2. 使低沸点溶剂挥发后方可使用<br>3. 修整时用力要轻 |
| 刷痕 | 1. 漆刷的刷毛不整齐<br>2. 漆刷刷毛过硬，涂料抹平后，修整效果差<br>3. 涂料粘度过高，流平性差<br>4. 稀释剂挥发过快 | 1. 将漆刷刷毛修整整齐<br>2. 根据涂料特性选用合适的漆刷<br>3. 适当添加稀释剂<br>4. 增加稀释剂中高沸点组分 |
| 气泡 | 1. 漆刷用水浸泡存放，使用时水分未除净<br>2. 被涂物表面粘附油、水或灰尘<br>3. 刷涂时未纵横交替进行涂布、抹平、修整 | 1. 漆刷使用前一定要除净水分<br>2. 刷涂前仔细清理被涂物表面<br>3. 刷漆的涂布、抹平、修整三步骤应纵横交替地进行 |
| 漆膜厚度不均 | 1. 溶剂挥发过快，且抹平、修整时间过长<br>2. 漆刷每次蘸取的漆量不一致，差别明显<br>3. 涂料粘度过高，或高粘度涂料选用了刷毛较软的漆刷 | 1. 适当增加稀释剂的高沸点组分，尽量缩短抹平、修整时间，不要停顿<br>2. 漆刷每次蘸取的漆量和所涂刷的面积要基本一致<br>3. 适当添加稀释剂，或选用合适的漆刷 |
| 流挂 | 1. 选用的漆刷刷毛过宽，与被涂物状况不适应<br>2. 漆刷蘸取的漆量过多 | 1. 根据被涂物选用规格合适的漆刷<br>2. 漆刷应按照预定的涂刷面积蘸取漆量 |

### 4.1.10　什么是滚刷涂？

滚刷涂方法是指将圆柱形滚刷蘸附涂料后，借助滚刷在被涂物表面滚动进行涂漆。大面积涂漆时，滚刷涂可以代替刷涂，其涂刷效率比刷涂的效率高一倍，但在涂刷

窄小的被涂物及棱角、圆孔等形状复杂的部位时，利用滚刷涂就比较困难。

滚刷涂广泛用于船舶、桥梁、各种大型机械和建筑涂漆。

### 4.1.11 滚刷涂的主要工具有哪些?

滚刷涂的主要工具是滚刷，由刷辊和支撑机构两部分组成，见表4-5。

表4-5 滚刷的构造

| 构造 \ 种类 | a 型 | b 型 |
|---|---|---|
| 刷辊 | 1, 2 | 1, 2, 3 |
| 支承机构 | 3, 4, 3, 7, 8 | 5, 6, 5a, 7, 5b, 8 |

注：1—辊芯，2—含漆层，3—支承座，4—弹簧钢胀箍，5—刷辊固定机构，5a—螺栓式，5b—开口梢式，6—弹簧，7—支承杆，8—手柄。

刷辊由辊芯和含漆层构成。辊芯由金属板、塑料板或纤维板制成，起托附含漆层的作用。含漆层分为纤维含漆层和海绵含漆层两类，贴附在辊芯的外表面。

纤维含漆层用天然纤维或合成纤维制成，天然纤维主要采用羊毛，合成纤维有尼龙、聚酯、聚丙烯等。按纤维的长度又有长毛、中毛、短毛之分：长毛含漆层的毛长为18～30mm，用于粗糙表面涂漆；中毛含漆层属通用型，毛长为10～17mm；短毛含漆层的毛长为2～9mm，用于对漆膜装饰性要求较高的场合涂漆。

海绵含漆层采用聚氨酯树脂或聚醋酸乙烯树脂泡沫塑料制成。发泡口径为0.5～1mm聚氨酯海绵含漆层用于一般涂漆，发泡口径为3～5mm的聚氨酯海绵含漆层用于涂敷粘结剂及砂浆涂料等，聚醋酸乙烯树脂海绵含漆层用于复色拉毛。

### 4.1.12 什么是通用型滚刷?

通用型滚刷呈圆筒形。按照刷辊内径分为小型、标准型和大型，小型刷辊内径为16～25mm，适用于被涂物的内角和拐角等部位；标准型刷辊内径为38mm，辊幅为100～220mm，一般被涂物的平面与曲面都适用；大型刷辊内径为50～58mm，含漆层含涂料量多，适用于大面积涂漆，效率高。

### 4.1.13 什么是特殊型滚刷?

特殊型滚刷主要适用于被涂物形状复杂的部位，其刷辊不是一个规则的圆筒形，如用于管道、边沿部位、棱角部位等各种复杂形状的需要呈特殊形状的涂刷，如图 4-4 所示。

### 4.1.14 什么是压送式滚刷?

压送式滚刷是借助压送泵向刷辊自动供给涂料的，其构造如图 4-5 所示。与通用型滚刷相似，只是支承杆与刷辊的辊芯成为涂料输送通道，涂料经压送泵增压后由输送管道输出，再经支承杆与辊芯的内腔输送给含漆层，因此，这种滚刷必需配备专用的涂料压送装置。这种滚刷适用于建筑、桥梁、船舶等大型被涂物涂漆。由于压送式滚刷自动供给涂料，故可以实现在高处、远距离作业和连续涂漆作业。压送式滚刷涂料输出量可以调整，能确保均衡供给涂料，漆膜厚度均匀，可以减少漆膜产生流挂及其他缺陷。压送式滚刷比通用型滚刷重，在涂漆作业过程中，要经常转移涂料输送管路，不适宜小面积涂漆。

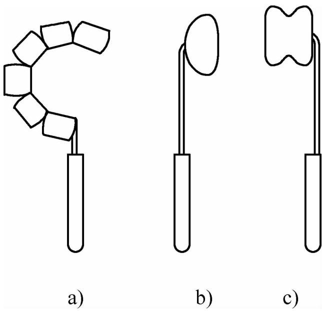



图 4-4 特殊型滚刷

a）管道滚刷 b）边沿滚刷 c）棱角滚刷

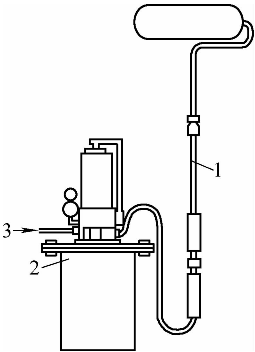



图 4-5 压送式滚刷

1—滚刷 2—柱塞式涂料压送泵 3—压缩空气

### 4.1.15 滚刷支撑机构上筒套绒毛材料和长度的选择依据是什么?

滚刷支撑机构上筒套绒毛材料和长度的选择见表 4-6。

**表 4-6 滚刷支撑机构上筒套绒毛材料和长度的选择**

| 涂料类型 | | 光滑性 | 半糙面 | 糙面 |
|---|---|---|---|---|
| 乳胶漆 | 无光或低光 | 羊毛或化纤的中长度绒毛 | 化纤长绒毛 | 化纤特长绒毛 |
| | 半光 | 马海毛的短绒毛或化纤绒毛 | 化纤的中长绒毛 | 化纤特长绒毛 |
| | 有光 | 化纤的短绒毛 | | |
| 溶剂型涂料 | 底漆 | 羊毛或化纤的中长度绒毛 | 化纤的长绒毛 | |
| | 中间涂层 | 短马海毛或中长羊毛绒毛 | 中长羊毛绒毛 | |
| | 无光面漆 | 中长羊毛绒或化纤绒毛 | 长化纤绒毛 | 特长化纤绒毛 |
| | 半光或全光面漆 | 短马海毛绒毛、化学绒毛或泡沫塑料 | 中长羊毛绒毛 | 长化纤绒毛 |

（续）

| 涂料类型 | | 光滑性 | 半糙面 | 糙面 |
|---|---|---|---|---|
| 其他涂料 | 防水剂或水泥封闭底漆 | 短化纤绒毛或中长羊毛绒毛 | 长化纤绒毛 | 特长化纤绒毛 |
| | 油性着色料 | 中长化纤绒毛或羊毛绒毛 | 特长化纤绒毛 | |
| | 氯化橡胶涂料、环氧涂料、聚氨酯涂料、地板家具清漆 | 短马海毛绒毛或中长羊毛绒毛 | 中长羊毛绒毛 | |

### 4.1.16　滚刷的操作内容及技巧是什么?

1）首先在滚刷涂料盘（见图4-6）内注入涂料，然后滚刷在盘内滚动沾上涂料，并反复滚动使含漆层均匀地蘸附涂料。

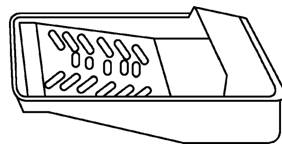


图4-6　滚刷涂料盘

2）滚刷涂漆时，初期压附用力要轻，随后逐渐加大压附用力，使刷辊所蘸附的涂料均匀地转移附着在被涂物的表面。

3）滚刷涂漆刷辊通常应按W（或M）形轨迹运行，如图4-7a所示，滚动轨迹纵横交错，相互重叠，使漆膜厚度均匀。滚刷涂快干型涂料或被涂物表面涂料浸渗强的场合，刷辊应按直线平行轨迹运行如图4-7b所示。

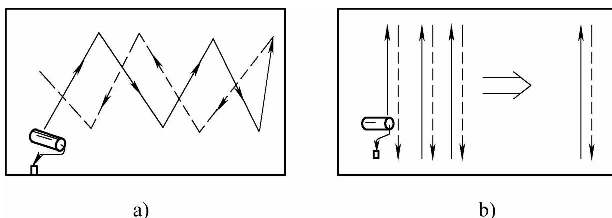



图4-7　滚刷涂料盘
a）W（或M）形轨迹　b）直线平行轨迹

4）应根据涂料的特性与被涂物的状况，选用合适的滚刷。滚刷使用后，应刮除残附的涂料，然后用相应的稀释剂清洗干净，可以在干燥的布上滚涂几次，晾干后妥善保存。晾干时尽量不要压迫绒毛，保存处要通风，以防发霉。长期不用的滚刷应将涂料从涂料罐中倒出，并用相应的稀释剂清洗干净。

## 4.2　刮涂

### 4.2.1　什么是刮涂?

刮涂法刮涂是采用刮刀对粘稠涂料进行厚膜涂装的一种涂装方法。主要用于刮涂腻子，修饰被涂工件凹凸不平的表面，并修整被涂工件的造型缺陷。

刮涂的主要特点：①对被涂工件表面不平整部位的填充性好；②涂膜质量差，且打

磨工作量大。

刮涂方法主要适用于各种涂装工件的底层涂装，如刮涂腻子、填孔、底漆等，也可用于刮涂油性清漆和硝基清漆。

### 4.2.2　刮涂用刮刀有哪些类型?

刮刀从材质上分为金属和非金属两大类，有钢制刮刀、橡胶刮刀、木制刮刀、牛角刮刀及塑料和有机玻璃刮刀等，如图 4-8 所示，其中较为常用的是钢制刮刀。各类刮刀的特点见表 4-7。

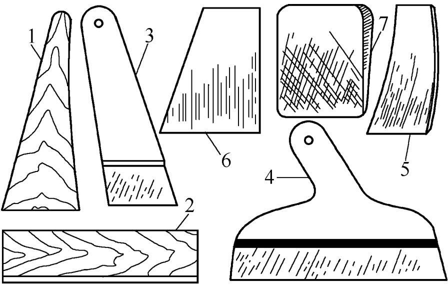



图 4-8　常用刮刀类型
1，2—木制刮刀　3，4—钢制刮刀
5—牛角刮刀　6—塑料刮刀　7—橡胶刮刀

刮刀有各种型号和规格，按照被涂物表面的形状、大小及涂料的类型可进行选择，如图 4-9 所示。尺状刮刀或宽度大的刮刀用于对大平面或大坑穴的刮涂，薄而窄的刮刀用于对边角或缝隙及小洞穴的修补。刮刀选择得当与否，直接关系到刮腻子的速度、质量及腻子的用量。

**表 4-7　各类刮刀的特点**

| 刮刀种类 | 特　点 |
|---|---|
| 木制刮刀 | 1. 用柏木和枫木之类的木材制作,制作容易,具有合适的弹性<br>2. 竖式木制刮刀刃宽为 10 ~ 150mm,刃宽大的用于一般刮涂,刃宽小的用于修整腻子层的缺陷<br>3. 横式木制刮刀刃宽通常超过 150mm,刮刀高度不超过 100mm,用于刮涂大的平面和圆曲面 |
| 钢制刮刀 | 1. 用弹簧钢板制作,具有较强的柔韧性和耐磨性,常用的钢板厚度为 0.5 ~ 1mm<br>2. 竖式钢制刮刀用于调拌腻子、小面积刮涂和涂刮修整表面凹凸不平的缺陷<br>3. 横式钢制刮刀刃宽可达 400mm 以上,用于大面积刮涂<br>4. 刃口的边角要磨圆,刃口适当打磨不能太锋利,也不能太钝 |
| 牛角刮刀 | 1. 用水牛角制成,其形状与竖式木制刮刀近似<br>2. 具有弹性,适宜用于对腻子层进行修整补平和填补针眼<br>3. 不耐磨,不适宜大面积刮涂或刮涂粗糙的表面<br>4. 刃口要磨薄,应呈 20° ~ 30° 角度,且刃口要磨平直 |
| 塑料刮刀 | 1. 用硬质聚氯乙烯塑料板制成,常用板厚为 3mm,可制成各种不同刃宽的规格<br>2. 刃口要磨成一定角度,刃口要磨平直<br>3. 适宜大面积刮涂,尤其适宜刮涂稠度小的腻子 |
| 橡胶刮刀 | 1. 用耐溶剂、耐油的橡胶板制作,常用的橡胶板厚为 4 ~ 10mm,可制成各种刃宽的规格<br>2. 刃口不能磨得太高,以免刮涂时强度不够<br>3. 有很高的弹性,适宜刮涂形状复杂的被涂物表面<br>4. 强度低,不适宜填坑补平 |

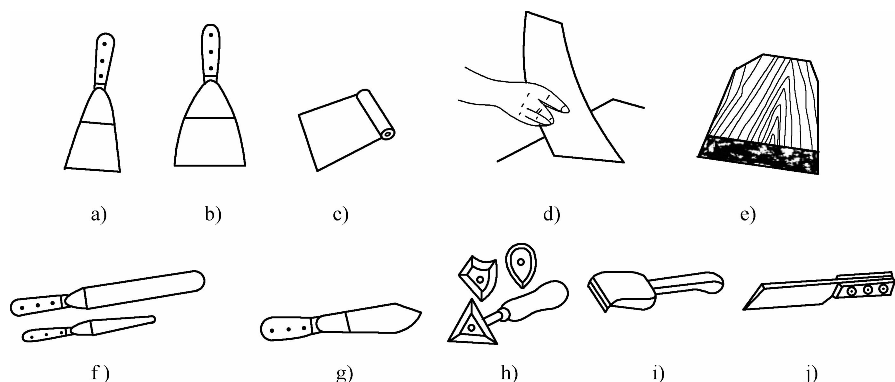



图4-9 刮刀的类型

a）铲刀 b）腻子刮铲 c）钢刮板 d）牛角刮刀 e）橡皮刮板 f）调料刀 g）油炭（腻子）刀 h）斜面刮刀 i）刮刀 j）剃刀

### 4.2.3 常用腻子盘有哪些类型？

腻子盘分为调腻盘和托腻盘两种。

（1）调腻盘 调腻盘用于调整腻子稠度。腻子的稠度常因运输、存放等因素发生变化而达不到刮涂要求，需要添加稀释剂进行调整。调腻盘也可用于自调腻子，一般用2～3mm厚的钢板制作，常用规格为500mm×400mm×50mm，可根据实际需要调整大小，边沿应向外倾斜20°～30°，对底盘要求平整光滑。

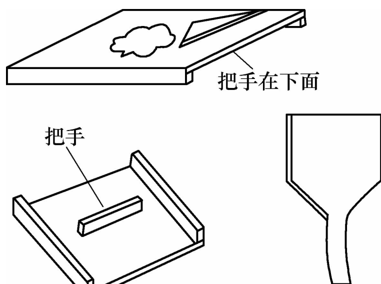



图4-10 托腻板

（2）托腻盘 托腻盘是用来盛装待刮的腻子，常用1.5～2mm厚的钢板制作，常用规格为250mm×180mm×35mm，可根据实际需要调整大小，托腻盘不宜过大，边沿应向外倾斜20°～30°，对底盘要求平整光滑。

刮涂时，若是高空作业或腻子用量少，可采用木制的托腻板。托腻板的形状多种多样，如图4-10所示。

### 4.2.4 常用打磨工具有哪些类型？

（1）砂布 腻子层的打磨采用砂布或砂纸。将腻子层磨平用1.5～2.5#砂布或150～220#砂纸粗磨；将腻子层打磨光滑用1～100#砂布或220～360#砂纸细磨。

（2）垫板 是木制的平板，打磨时可以将砂布（或砂纸）卡附在垫板的一面，主要用于平面磨平腻子层，且磨高不磨低。小的垫板用砂布将垫板裹紧即可，大的垫板应设置卡紧固定砂布的机构，如图4-11所示。

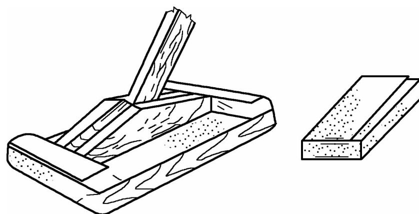


图4-11 打磨垫板

（3）打磨机　打磨机有电动和气动两种。电动打磨机只需接通电源即可使用，不需另外配置辅助设施，但重量大，湿磨时有漏电危险，其构造如图 4-12 所示；气动打磨机重量轻、效率高，使用方便安全，应用较广泛，其构造（F66 型）如图 4-13 所示。

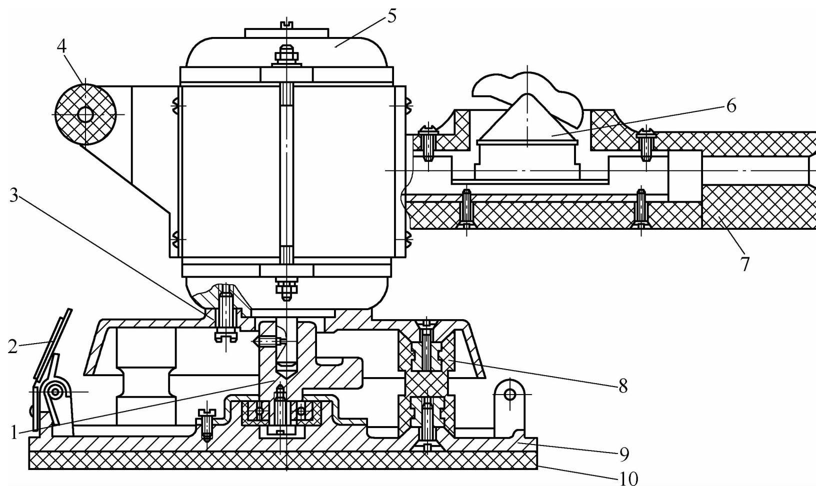


图 4-12　电动打磨机构造

1—偏心轴　2—弹簧夹子　3—中座　4—扶手　5—微型电动机
6—电气开关　7—绝缘手把　8—橡胶柱　9—底座　10—磨垫

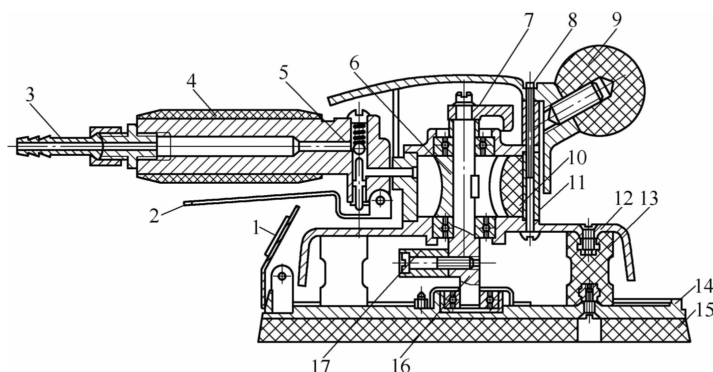


图 4-13　气动打磨机（F66 型）的构造

1—弹簧夹子　2—开关手柄　3—气管接头　4—手把　5—单向阀　6—叶片
7—上平衡块　8—上盖　9—扶手　10—转子　11—缸体　12—中间座
13—橡胶柱　14—底座　15—磨垫　16—偏心轴　17—下平衡块

### 4.2.5　使用刮涂工具的注意事项有哪些？

1）刮刀按使用需求适当选择，板面应平直、刃口不必太锋利，但要平整，不能缺口少角。

2）新的刮刀要用砂纸打磨刀尖，没有毛刺。

3）刮刀不可在腻子中浸泡时间过长，以免变形。

4）刮刀在使用中刀片端部难免会产生磨损或毛刺，使用时应及时修磨，使刃口保持平直。

5）在炎热的气候条件下使用时，每隔2h更换一次用具，以免弯曲变形；冬天不可用力过猛，以免断裂。

6）使用后，擦拭干净。若有腻子凝结在刮刀上，用另一硬物刮去多余腻子，再用相应溶剂擦拭。钢制刮刀长期不用时，应涂防锈油保存。牛角刮刀、塑料刮刀不要受热，也不要在溶剂中长时间浸泡防止变形弯曲。干净的刮刀放入牛皮纸或木制夹具内保存。

7）调腻盘与托腻盘使用后，应及时去掉残存的腻子，擦洗干净。擦洗时不要损伤盘底，保管过程中防止受潮锈蚀。

### 4.2.6　刮涂的主要内容有哪些？

（1）刮涂次数　腻子要多次刮涂，腻子层才牢固结实。一次刮涂过厚，腻子层容易开裂脱落，且干燥慢，故不能一次刮涂腻子层达到预定的厚度，为保证刮涂质量，一般不少于刮涂三次，即通常所说的头道、二道、末道刮涂，其各自的要求是不相同的。刮涂头道腻子要求腻子层与被涂物表面牢固粘结。刮涂时，要使腻子浸润被涂物表面，渗透填实微孔，对个别大的陷坑需先用填坑腻子填实。刮二道腻子是将被涂物表面粗糙不平的缺陷完全覆盖。二道腻子的稠度应比头道腻子高，刮涂时，应尽量使腻子层表面平整，允许稍有针眼，但不应有气泡。刮末道腻子要求腻子层表面光滑，填实针眼。刮涂时，用力要均衡，尽量使腻子层表面光滑，不出现明显的粗糙面，所用腻子稠度低于二道腻子。

（2）腻子稠度的调整　腻子稠度与刮涂效果有密切关系，稠度适当才能浸润底层又能确保必要的厚度。由于稀释剂挥发，通常腻子稠度会随着使用时间延长而增大。在刮涂前如发现腻子的稠度不符合刮涂要求，应调整后再用。

（3）刮涂操作步骤　刮涂操作通常分为抹涂、刮平、修整三个步骤，但要根据刮涂的要求灵活运用。刮涂干燥速度慢的腻子可明显地分为三个步骤，与干燥速度快的腻子刮涂时运用三个步骤是有区别的，前者后者（如过氯乙烯树脂腻子）干燥速度快，刮涂时，抹涂、刮平、修整三个步骤应该连续一步完成。

抹涂是用刮刀将腻子抹涂在被涂物表面。抹涂时先用刮刀从托腻盘中挖取腻子，然后将刮刀的刃口贴附在被涂物的表面，运行初期应稍向前倾斜刮刀，使其与被涂物表面应呈80°夹角，随着刮刀运行移动，刮刀上粘附的腻子逐渐减少，在移动过程中，要逐渐加大刮刀向前倾斜的程度，直至夹角约为30°时，将刮刀粘附的腻子完全抹涂在被涂物表面。

刮平是将抹涂在被涂物表面的腻子层刮涂平整，消除抹涂时留下的明显痕迹。刮平时，先应将刮刀上残留的腻子去掉，然后用力将刮刀向前倾斜贴附在腻子层上，并按照抹涂时刮刀的运行轨迹向前刮，随着刮刀的运行移动，刮刀上粘附的腻子会逐渐增多，刮刀的倾斜程度也应逐渐增大，直至夹角呈90°时把多余的腻子刮下来。

修整是基本刮涂平腻子层后，用刮刀稍微水平地轻轻挤压，对个别不平整的缺陷、

接缝痕迹、边沿缺损等进行修整。修整时，用力不要过大，以防损坏整个腻子层，刮刀应向前倾斜，或用少许腻子填补，或用刮刀挤刮。

### 4.2.7 刮涂时的操作技巧有哪些?

1）腻子用稀释剂调节粘度并很好地混合，有时可在腻子中调入少量同类性质和相似颜色的底漆。施工时，在刮刀的刀口蘸上少许腻子，一边挤压一边刮涂。

2）刮涂腻子时，以左手握平腻子板，右手持刮刀。刮刀有两种拿法，一种拿法适合牛角刮刀、橡皮刮刀及钢片刮刀，用拇指与食指、中指握住；另一种拿法适用于腻子刮刀，采用握拳式。

3）刮涂时，要用力按住刮刀，使其与物面倾斜成一定角度，顺着表面刮平。

4）对刮刀要对刀尖端均匀施力，不要左右用力不均，否则会产生接缝式条纹。

5）对硝基腻子等干性较快的腻子，操作过程要迅速，腻层要薄，一般不超过 1mm。干燥时间在 30 ~ 60min 后，方可涂装第二遍。

## 4.3 浸涂

### 4.3.1 什么是浸涂?

浸涂法的主要操作是将工件浸没于涂料中，经过一定时间后取出，除去其上的过量涂料，通过烘干室烘干或自然干燥成膜。

浸涂的方法很多，有传统的手工浸涂法，以及现代的传动浸涂法、离心浸涂法、回转浸涂法、真空浸涂法等自动浸涂的方法。

浸涂的主要特点：①由于其涂装设备简单，生产效率高，且材料消耗低，操作简单，应用范围广，广泛应用于小型的五金零件及结构比较复杂的器材或电气绝缘件等；②易产生流挂，并且被涂工件上、下部涂膜存在厚度差，涂膜质量不高。

### 4.3.2 浸涂的应用范围有哪些?

1）手工浸涂适用于对装饰性要求不高且批量小涂装，如小五金、钢质管架、薄片件、小型铸件、电气绝缘件等。

2）自动浸涂适用于大批量流水生产、涂装工件表面要求不高的各种较小型的金属件，以及要求防腐的大型工件，或作为底层涂装，如机械、化工、农机、交通、船舶、电器等。

3）对于存在深槽、不通孔等能积存油漆且余漆不易去除的工件不适合用浸涂的方法。

### 4.3.3 常用浸涂设备有哪些?

浸涂设备通常包括浸涂槽，去余漆装置，搅拌装置，涂料加热冷却装置，通风装置，计量、过滤与防火装置，此外还需要配置输送悬挂装置和贮漆罐，图 4-14 为通过式浸涂设备，图 4-15 为间歇式浸涂设备。

一些采用浸涂的生产线，工件由传送链送入涂料槽，浸过涂料后，顺着传送链上升段被提出，随后进入充满溶剂蒸气的隧洞，滴落剩余的涂料并形成涂层。为防止溶剂蒸气侵入车间，在设备两端进出口都装有空气幕。

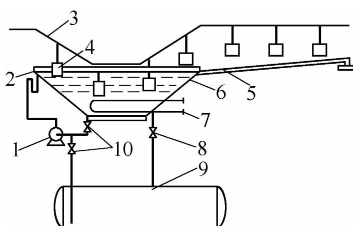



图4-14　通过式浸涂设备
1—循环搅拌泵　2—槽边通风装置　3—悬挂输送机　4—被涂物　5—滴漆盘　6—浸涂槽　7—加热装置　8—放漆阀　9—贮漆罐　10—阀门

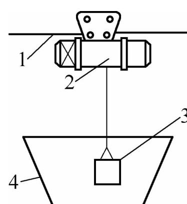



图4-15　间歇式浸涂设备
1—传送装置　2—电动葫芦　3—被涂物　4—浸涂槽

### 4.3.4　什么是浸涂槽?

（1）浸涂槽的种类　浸涂槽是浸涂所必需的主要设备，根据涂漆作业方式分为连续作业用的船形浸涂槽和间歇作业用的矩形浸涂槽两种。槽体的形状与尺寸决定于被涂物的形状与尺寸，槽体的大小在满足浸涂时被涂物不碰撞槽壁的条件下，应尽量减小槽体的容积和敞开面，以减少涂料的投入量与溶剂的挥发。浸涂槽可设置溶剂挥发装置或在不浸涂时加盖。浸涂槽用钢板或塑料板制作。

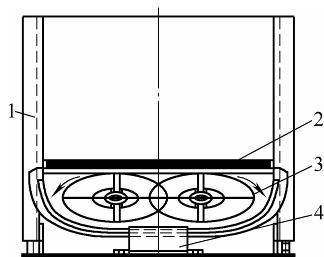



图4-16　圆弧形槽底
1—槽体　2—栅格板　3—卧式旋片搅拌装置　4—放漆口

（2）槽体的构造　槽底通常多采用平底。但用卧式旋片搅拌时，槽底应为圆弧形，如图4-16所示。为防止被涂物掉落损坏装置，在槽体内下部应设置栅格板。

槽体需设置放漆口和事故排防口。事故排防口用于大型浸涂槽。其直径需满足5min内可将槽内涂料全部排出的要求。采用循环泵搅拌的槽体应设置循环泵管道出入口，采用卧式旋片搅拌的槽体应设置传动轴引入口。槽体应设置底座，便于安装时找平和安装各种排放管口。

### 4.3.5　浸涂时去除余漆的装置有哪些?

浸涂后需去余漆，浸涂设备中有自然滴落去余漆和静电去余漆两种装置。

（1）自然去余漆装置　自然去余漆法是常用的去余漆方法。这种方法只需在浸涂槽的被涂物出口处设置一个滴漆盘。滴漆盘向浸涂槽倾斜角度一般与水平呈10°～15°，使从被涂物滴落的余漆流回浸涂槽。滴漆盘的宽度应稍大于被涂物的宽度，即使被涂物悬挂在输送链上摇晃，余漆也会滴落在滴漆盘内。滴漆盘的长度应满足浸漆后被涂物表面上的余漆从连续滴落到不连续滴落的输送距离要求。通常可按浸涂槽长度的1.2～2.2倍选取。大型滴漆盘的四周应布置蒸汽灭火装置，确保作业安全。

（2）静电去余漆装置　静电去余漆装置由高压静电发生器、电缆和平板状（或网状）电极组成。常用的静电场电压为60～80kV，电流为200A左右。按照实际使用经验，电极与被涂物之间的距离应为200～300mm，被涂物通过电极的时间约为2min，按照被涂物通过电极所需时间确定电极的长度。

### 4.3.6 浸涂时的加热装置是什么?

温度对涂料粘度的影响极为密切，而粘度又是浸涂所必须严格控制的工艺条件，因此，浸涂设备必须配置加热和冷却装置。

冬季作业环境温度比较低或涂料常温粘度过高不宜浸涂的情况下，必须对浸涂槽的涂料加热，确保适宜的浸涂温度。

浸涂设备的加热装置常用的是用热水或蒸汽作热源的排管式和蛇形管式换热器。排管式换热器如图 4-17 所示，它由多根水平直管和垂直直管焊接而成，这种换热器不受结构限制，可多设水平直管，增加换热面积。换热器最好安装在浸涂槽的侧壁，与槽壁的距离为 80 ~ 150mm。蛇形管式换热器如图 4-18 所示，所用管子直径不得超过 70mm，管子弯曲半径一般应为管子外径的 3 ~ 4 倍，这种换热器不宜过长，当蒸汽压力为 0.2 ~ 0.4MPa 时，管长与管径之比应不超过 275，如要求超过允许的长度，可设计成若干组并联蛇形管。

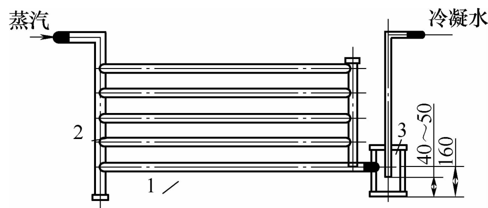



图 4-17 排管式换热器

1—水平直管 2—垂直直管 3—水封结构

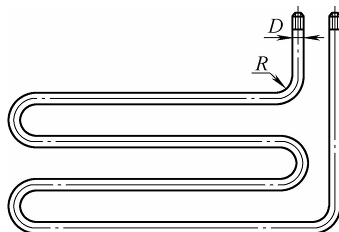



图 4-18 蛇形管式换热器

浸涂设备加热装置也可采用电加热管，其特点是结构简单、热效率高。

无论是热水、蒸汽换热器，还是电加热器，都必须配置相应的可靠的温度控制装置。

### 4.3.7 浸涂时的冷却装置是什么?

在夏天，如果作业环境温度过高，必须对浸涂槽内的涂料进行冷却降温，将槽内涂料温度控制在工艺范围。浸涂的冷却设备装置有两种形式，一种是在浸涂槽壁外围设置套管，通冷水降温；另一种形式是用加热用的换热器，通冷水降温。冷水可用井水或冷却塔循环水。

### 4.3.8 常用搅拌装置的种类有哪些?

为防止浸涂槽内涂料的颜填料沉淀或结块，必须配置搅拌装置，搅拌装置尤其是大型浸涂设备所必要的组成部分。常用的搅拌装置有泵循环搅拌装置和机械搅拌装置两种类型。如果涂料沉降不严重，槽子不是很大，可在每次生产前用不与涂料槽反应的棍棒搅拌。

（1）机械搅拌装置　机械搅拌装置有旋桨式和往复式两种，往复式搅拌装置只能在被涂物入槽前使用，因此，通常多采用旋桨式搅拌装置。旋桨式机械搅拌装置常设在浸涂槽的一端。为使浸涂槽获得满意的搅拌效果，最好选用双桨式。双桨式叶片的直径应为浸涂槽宽度的 1/2 ~ 1/3，转速宜控制在 60 ~ 120r/min 范围内，要求搅拌轻微均匀，不能太激烈。浸涂槽的长度与宽度之比大于 4 时，则宜在浸涂槽的两端各设置一台双桨

式搅拌装置。

（2）泵循环搅拌装置　浸涂槽内的涂料从槽体底部由泵抽出，再经循环管道流回槽体上部，使浸涂槽内的涂料反复循环，达到涂料的各组分在槽内分布均匀，这就是泵循环搅拌，装置多为水平式。这种搅拌装置较适用于连续式浸涂槽，由泵、溢流槽、过滤网组成。泵吸入溢流槽中的涂料，并通过浸涂槽底部的管道排入到浸涂槽中，同时通过溢流槽中的滤网将其中的杂质过滤干净。泵循环搅拌装置的容量可按浸涂槽的容积确定，用于中小型浸涂槽宜取4～8倍，用于$10m^3$以上的浸涂槽宜取2～4倍。为确保良好的循环搅拌效果，又不致因激烈循环产生气泡，循环管道中涂料的流速宜小于1.0m/s。大型浸涂槽的循环搅拌装置还应配置由金属网构成的过滤装置，便于清除涂料中的异物。

### 4.3.9　浸涂时有哪些操作注意事项？

1）开始浸漆作业前五分钟应启动通风设备，作业停止后也不要立即关闭通风设备，应使其多运转几分钟，保持作业环境空气流通，排除溶剂挥发气体。

2）按照涂料的特性与对漆膜厚度的要求，应事先确定浸涂槽内涂料的合适粘度，在浸漆过程中，应定期检测浸涂槽内涂料的粘度，并及时进行调整。

3）浸漆时，被涂物入槽与出槽的速度不宜过快，以免浸涂槽内涂料激烈运动产生气泡，影响漆膜质量。

4）温度对涂料粘度影响很大，采取适当的加热或降温措施，将浸涂槽内涂料温度控制在所要求的范围之内。

5）为防止浸涂槽内产生沉淀，需适当的搅拌。

6）添加新漆搅拌均匀后，需静置一定时间待气泡消除后，方可进行浸漆作业。

7）不进行浸漆作业时，浸涂槽应加盖，以免灰尘或其他污物混入槽内污染涂料。

### 4.3.10　浸涂时漆膜的常见缺陷及改进方法有哪些？

浸涂时漆膜的常见缺陷及改进方法见表4-8。

**表4-8　浸涂时漆膜的常见缺陷及改进方法**

| 漆膜缺陷 | 产生原因 | 改进方法 |
|---|---|---|
| 气泡 | 1. 搅拌过于激烈<br>2. 被涂物悬挂不当 | 1. 调整搅拌速度<br>2. 调整被涂物悬挂方式 |
| 漆膜过厚 | 1. 涂料粘度过高<br>2. 被涂物上提过快<br>3. 浸涂槽内涂料温度过低 | 1. 适当添加稀释剂,降低粘度<br>2. 适当降低被涂物从浸涂槽上提的速度<br>3. 适当提高浸涂槽内涂料的温度 |
| 漆膜过薄 | 1. 涂料粘度过低<br>2. 浸涂槽温度过高 | 1. 添加原漆,增加涂料粘度<br>2. 降低浸涂槽涂料的温度 |
| 漆膜表面粗糙 | 1. 搅拌不充分,涂料的颜填料组分分散不均匀<br>2. 过滤效果差 | 1. 充分搅拌涂料<br>2. 检查过滤装置,或更换过滤网 |
| 漆膜厚度不均匀,或有流痕 | 1. 涂料粘度过高、流平性差<br>2. 被涂物从浸涂槽上提时,速度时快时慢 | 1. 添加稀释剂,适当降低涂料粘度<br>2. 检查被涂物上提机构,确保上提速度均匀 |

## 4.4　淋涂

### 4.4.1　什么是淋涂?

淋涂就是液体涂料通过淋涂机头的刀缝形成流体薄膜（涂幕），然后让被涂板式部件从涂幕中穿过而被涂饰的一种方法。涂装时，工件被不断输送进入涂幕，多余的涂料被下部的漆槽收集并重新利用。

与浸涂方法一样，淋涂也是采用过量的涂料润湿、黏附、覆盖被涂物的表面，并借助涂料自身的重力流平，然后去余漆成膜。

### 4.4.2　淋涂工艺的特点是什么?

1）涂饰效率最高，是涂饰效率最高的一种涂饰方法。

2）涂饰质量最好，其涂层厚度的均匀性、表面平整光滑度基本上没有缺陷，是任何涂饰方法都不可及的。

3）涂料损失小。在整个涂饰过程中，涂料基本是在封闭的循环系统中运行，几乎没有涂料的固体成分挥发到空气中去；涂料中的溶剂也要在烘道中才挥发，可以集中处理。

4）有利于实现机械化与自动化。

5）淋涂工艺的缺点是适用范围小。淋涂只适宜涂饰板式部件的正平面，对部件的周边很难涂饰，对整只产品或形状较复杂的零部件则无法进行涂饰。

尽管淋涂的范围受到一定限制，但由于淋涂是一种又快又好的涂饰方法，所以是现代板式家具的理想涂饰设备，应用相当普遍。

### 4.4.3　淋涂的主要工艺条件是什么?

淋涂的主要工艺条件见表 4-9。

**表 4-9　淋涂的主要工艺条件**

| 项　目 | 工艺参数 | 项　目 | 工艺参数 |
|---|---|---|---|
| 涂料粘度/s | 30～100(涂-4 杯) | 泵压式喷淋压力/MPa | 0.15～0.35 |
| 涂料温度/℃ | 20～25 | 喷淋时间/min | 1～2 |
| 自重式喷淋喷嘴/mm | 7～10 | 滞留时间/min | 8～20 |
| 泵压式喷淋喷嘴/mm | 1.5～2.5 | | |

### 4.4.4　如何操作淋涂机?

1）将调配好的涂料放进贮漆箱中，并盖紧箱盖。

2）起动输漆泵，使涂料经输漆管道进入滤漆器，再由滤器进入淋涂机头，便从机头底部刀缝中流出形成连续的涂幕，不断地倾泻到回料槽中，进行循环运转。

3）将要淋涂的板式部件放到产品输送带上，随输送带从漆幕中穿过，淋涂一层均匀的涂层。

在实际操作时，如果需要的涂层较薄，便将输送带的速度调大，反之则调小，直到

达到工艺要求为止。

### 4.4.5　淋涂时漆膜的常见缺陷及改进方法有哪些?

淋涂时漆膜的常见缺陷及改进方法见表4-10。

表4-10　淋涂时漆膜的常见缺陷及改进方法

| 缺陷名称 | 产生原因 | 预防措施 |
|---|---|---|
| 涂层不连续(涂层断裂,涂层断漏,涂层不均匀、漆膜破裂) | 1. 车间内有穿堂风(过堂风) | 1. 挡住穿堂风 |
| | 2. 涂料粘度过低 | 2. 提高涂料粘度 |
| | 3. 淋漆机头上方或淋漆刀处风力过大,导致漆幕呈现飘移状(飘动) | 3. 降低通风机功率,降低淋漆机头高度,淋漆刀处加装挡风板 |
| | 4. 淋漆刀缝隙(刀口)中有异物堵塞,或涂料量过少,导致漆幕不连续(断裂) | 4. 认真清洗刀片,清除异物,调节涂料出口量 |
| | 5. 淋漆机头底缝与物面的距离过大 | 5. 调节淋漆机头与物面的距离,以100mm为宜 |
| | 6. 传送带不平稳,产生跳跃(跳动) | 6. 调整传送带的传动装置 |
| 起粒 | 1. 过滤器损坏(涂料过滤装置有洞) | 1. 修理过滤器,调换过滤网,使之能够正常工作 |
| | 2. 淋涂量过大 | 2. 调节淋漆量 |
| 起泡 | 1. 涂料槽中涂料过少,涂料循环装置内漆液中有气泡 | 1. 增加涂料槽中漆液,涂料循环装置内保持一定的涂料量 |
| | 2. 涂料槽中的消泡器位置不正确,表面不洁净,消泡剂的作用不良 | 2. 调整消泡器的位置,清除消泡器表面积尘 |
| | 3. 涂料泵压力过大,循环流量过大(涂料在淋漆刀中的流速过快,回入贮漆罐中的涂料流速过高,导致在贮漆槽中产生气泡),冲击力过大(淋漆刀上的出漆量较大,对物面产生的冲击较大,导致在涂层上产生气泡) | 3. 调节涂料泵的出口压力 |
| 桔皮 | 1. 流平性较差 | 1. 调换涂料 |
| | 2. 涂料粘度过高 | 2. 降低涂料粘度 |
| | 3. 流量过大,涂层过厚 | 3. 调整刀口宽度,调节传送带速度 |

## 4.5　转鼓涂

### 4.5.1　什么是转鼓涂?

转鼓涂方法是将被涂物与涂料置入密闭的鼓形容器中，借助转鼓转动使被涂物相互摩擦，将涂料均匀地涂敷在被涂物表面的一种涂装方法。转鼓涂适用于批量多的小件，如小五金等。

### 4.5.2　转鼓涂的设备有哪些？

转鼓是转鼓涂的主要设备，过去多为圆筒形和六角筒形，现在都采用翻滚效果更好的八角锥形和八角筒形，如图 4-19 所示。

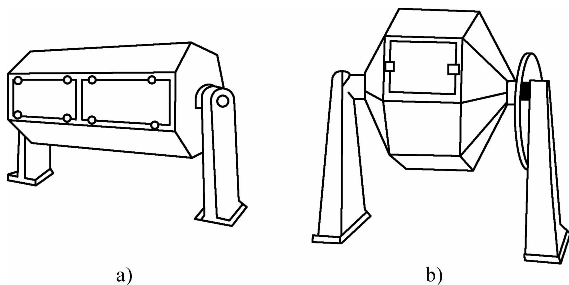


图 4-19　转鼓涂设备

a）八角筒形转鼓　b）八角锥形转鼓

### 4.5.3　转鼓涂的操作要点有哪些？

1）涂料的粘度可根据被涂物的形状确定，一般为 16 ~ 20s 较合适。

2）转鼓的转速应控制在 20 ~ 40r/min 范围内。

3）涂料的投入量，通常开始投入量少，然后再根据漆膜覆盖情况进行补充。

4）转鼓内被涂物投装量应为转鼓容积的 50% ~60% 。

5）转涂时间由于被涂物的形状不同，所需时间是有差别的。一般只需几分钟即可获得满意的涂敷效果。

6）转涂完毕后，将被涂物卸出摊放在铁丝网上，转入干燥工序。

### 4.5.4　转鼓涂操作时有哪些注意事项？

1）选用的涂料最好是粘度较低、固体含量较高。

2）转鼓转速要选择适当，太慢翻滚效果差，过快会因离心作用使被涂物贴附在鼓壁，同样翻滚效果不佳。

3）形状扁平、凹陷较深的被涂物，进行转鼓涂时易相互紧贴，翻滚涂漆的效果差，需掺入其他形状的被涂物（如球状被涂物），才能获得满意的翻滚效果。

4）转鼓涂完毕后，转鼓长期不用时，需将内壁清洗净，以免残留的涂料干结。

## 4.6　空气喷涂

### 4.6.1　什么是空气喷涂？

空气喷涂法最初是为解决硝基漆类快干型涂料的涂装而开发的，该方法通过压缩空气的气流使涂料雾化，在气流带动下喷涂到被涂工件表面进行涂装的方法。

空气喷涂的主要特点：①优点是适用于各种涂料和各种被涂工件，应用范围广，且操作简便，涂装效率高（大约是刷涂法的 8 ~ 10 倍），涂膜质量好，易得到均匀美观的涂膜；②缺点是涂料消耗大，且涂料利用率低，漆雾飞散多，环境污染较严重。

空气喷涂方法简单，能进行大批量自动流水线生产，适用于各种形状、各种大小及不同材质工件涂装，如电器、仪器仪表、玩具、纸张、钟表、机械、化工、船舶、车辆等，应用十分广泛。在合成树脂涂料的施工中普遍使用。

### 4.6.2　空气喷涂的工作原理是什么？

空气喷涂的工作原理是用压缩空气从空气帽的中心孔喷出，在涂料喷嘴前端形成负

压区，使得涂料容器中的涂料从涂料喷嘴中喷出，然后进入高速压缩空气流，通过涂料与压缩空气的相互扩散，将涂料分散并以漆雾状飞向被涂物并附着在其表面，集聚成连续的漆膜的涂装方法。

空气喷涂喷枪枪头的工作原理如图4-20所示。

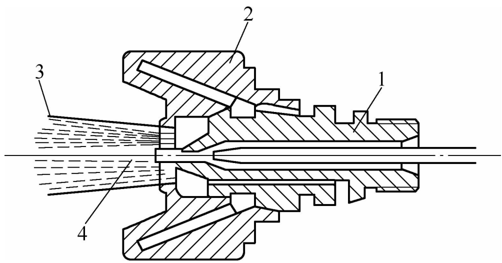



图4-20 空气喷涂喷枪枪头的工作原理
1—涂料喷嘴 2—空气帽 3—空气喷射 4—负压区

### 4.6.3 空气喷涂用喷枪的种类有哪些?

喷枪是空气喷涂法的主要工具，其种类、结构及操作极大地影响涂装质量。喷枪是使涂料和压缩空气混合后，将涂料雾化和喷射到基底表面的一种工具。喷枪的种类繁多，按涂料供给的方式来区分，主要有吸上式、重力式和压送式三种类型。如图4-21所示。

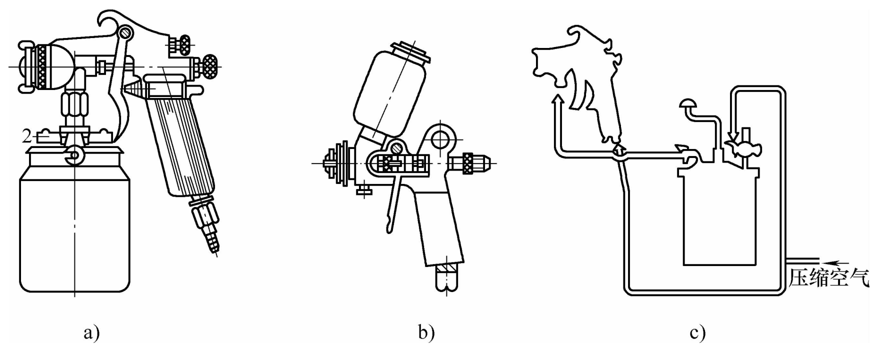



图4-21 喷枪的类型
a）吸上式 b）重力式 c）压送式

### 4.6.4 空气喷涂时常用喷枪的特点和型号有哪些?

空气喷涂时常用喷枪的特点和型号见表4-11。

表4-11 空气喷涂喷枪的特点和型号

| 涂料供给方式 | 按被涂物区分 | 喷雾方式 | 涂料喷嘴口径/mm | 空气用量/(L/min) | 涂料喷出量/(L/min) | 喷雾图形幅宽/mm | 试验条件 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 重力式 | 小型 | 圆形喷雾 | (0.5) | 40以下 | 10以下 | 15以下 | 喷涂空气压力为0.3MPa;喷涂距离为200mm;喷枪移动速度在0.05m/s以上 |
| | | | 0.6 | 45 | 15 | 15 | |
| | | | (0.7) | 50 | 20 | 20 | |
| | | | 0.8 | 60 | 30 | 25 | |
| | | | 1.0 | 70 | 50 | 30 | |

（续）

<table>
<tr><th>涂料供给方式</th><th>按被涂物区分</th><th>喷雾方式</th><th>涂料喷嘴口径/mm</th><th>空气用量/(L/min)</th><th>涂料喷出量/(L/min)</th><th>喷雾图形幅宽/mm</th><th>试验条件</th></tr>
<tr><td rowspan="13">吸上式、重力式</td><td rowspan="6">小型</td><td rowspan="6">椭圆形喷雾</td><td>0.8</td><td>160</td><td>45</td><td>60</td><td rowspan="6">喷涂空气压力为 0.3MPa；喷涂距离为 200mm；喷枪移动速度在 0.05m/s 以上</td></tr>
<tr><td>1.0</td><td>170</td><td>50</td><td>80</td></tr>
<tr><td>1.2</td><td>175</td><td>80</td><td>100</td></tr>
<tr><td>1.3</td><td>180</td><td>90</td><td>110</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>190</td><td>100</td><td>130</td></tr>
<tr><td>1.6</td><td>200</td><td>120</td><td>140</td></tr>
<tr><td rowspan="7">大型</td><td rowspan="7">椭圆形喷雾</td><td>1.3</td><td>280</td><td>120</td><td>150</td><td rowspan="7">喷涂空气压力为 0.35MPa；喷涂距离为 250mm；喷枪移动速度在 0.1m/s 以上</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>300</td><td>140</td><td>160</td></tr>
<tr><td>1.6</td><td>310</td><td>160</td><td>170</td></tr>
<tr><td>1.8</td><td>320</td><td>180</td><td>180</td></tr>
<tr><td>2.0</td><td>330</td><td>200</td><td>200</td></tr>
<tr><td>(2.2)</td><td>330</td><td>210</td><td>210</td></tr>
<tr><td>2.5</td><td>340</td><td>230</td><td>230</td></tr>
<tr><td rowspan="8">压送式</td><td rowspan="3">小型</td><td rowspan="3">椭圆形喷雾</td><td>(0.7)</td><td>180</td><td>140</td><td>140</td><td rowspan="3">喷涂空气压力为 0.35MPa；喷涂距离为 200mm；喷枪移动速度在 0.1m/s 以上</td></tr>
<tr><td>0.8</td><td>200</td><td>150</td><td>150</td></tr>
<tr><td>1.0</td><td>290</td><td>200</td><td>170</td></tr>
<tr><td rowspan="5">大型</td><td rowspan="5">椭圆形喷雾</td><td>1.0</td><td>350</td><td>250</td><td>200</td><td rowspan="5">喷涂空气压力为 0.35MPa；喷涂距离为 250mm；喷枪移动速度在 0.15m/s 以上</td></tr>
<tr><td>1.2</td><td>450</td><td>350</td><td>240</td></tr>
<tr><td>1.3</td><td>480</td><td>400</td><td>260</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>500</td><td>520</td><td>300</td></tr>
<tr><td>1.6</td><td>520</td><td>600</td><td>320</td></tr>
</table>

注：尽量不选用括号内规格。

### 4.6.5　空气喷涂用喷枪的使用原则是什么?

1）选择适宜的喷枪及确定喷嘴大小、喷涂距离和适当的空气压力。喷涂施工时，喷嘴大小与涂料性质和施工要求有关，一般涂料与喷嘴的关系：腻子喷嘴口径为 3.5～4.5mm；低粘度涂料喷嘴口径为 1～1.5mm；高粘度涂料喷嘴口径为 2～3mm。喷涂对象与喷嘴的关系：喷涂小面积喷嘴口径为 1～1.5mm；喷涂大面积喷嘴口径为 2.5～3mm；喷涂各种图案、文字，喷嘴口径为 0.2～1.2mm。喷枪与被涂物面的距离对涂膜质量有较大影响。距离太近，漆层增厚，产生流淌、桔皮等现象；距离太远，涂膜变薄，涂料损失大，涂膜易脱落，涂膜不平整，严重时大大降低光泽。一般喷距为 200～300mm，小口径喷枪为 150～250mm，而大口径喷枪的喷距控制在 200～300mm。喷涂压力可根据喷嘴大小和涂料的性质调节。一般粘度高的涂料采用较高的压力，如腻子喷涂时压力一

般为3.5kg/m$^2$；高粘度涂料压力为2.5~3kg/m$^2$，低粘度涂料为1~1.5kg/m$^2$。空气压力过高，雾化虽细，但涂料飞散多，损失大。反之，若压力不足，喷雾变粗，产生桔皮、针孔等缺陷。

2）涂料应在喷涂之前，准备妥当。双组分涂料应混合均匀，同时有一定的活化期。涂料需经过滤，去漆皮等杂质。涂料粘度需用稀释剂调整。粘度过大，雾化不好，涂膜粗糙无光；粘度过小，则产生流挂。适宜的涂料粘度为16~35s。装入贮漆罐时，不要过满，以2/3为宜，把松紧旋钮拧紧。

3）使用喷枪时，以手扣压扳机，使压缩空气的通道首先开放，继而使漆嘴通道开放。压缩空气由管道通向喷头，此时涂料从喷嘴流出，将涂料吹散到工件上。放松扳机时，出漆嘴的小孔被顶针紧密地封闭，压缩空气通道也被堵住。

4）调整枪头边侧的辅助空气通道及喷嘴的不同位置，可得到不同形状的漆流。

5）喷涂完毕后，应将多余可回收的涂料倒回原有的涂料桶，然后将喷枪清洗干净，不允许在喷枪内残余涂料。清洗喷枪时，可将涂料相应稀释剂倒入漆罐中，扳动扳机，溶剂由喷枪口喷出，使输漆管道得以清洗。然后关闭压缩空气，取下喷枪用溶剂擦拭干净。用带溶剂的毛刷仔细洗净空气帽、喷嘴及枪体。当空气孔被堵塞时，需用软木针疏通。检查针阀垫圈、空气阀垫圈的密封性，在密封圈处涂油，悬挂放置。

### 4.6.6 空气喷涂的操作要点是什么?

喷涂施工的质量主要决定于涂料的粘度、工作压力、喷嘴与物面的距离，以及操作者的技术熟练程度。为了获得光滑、平整、均匀一致的涂层，喷涂时必须掌握正确的操作方法。

1）喷涂前的涂料选择，粘度调整，喷枪喷嘴口径、喷距、压力等均按照上述喷枪使用方法为准。

2）用无名指和小指轻轻拢住枪柄，食指和中指扣住扳机，枪柄夹在虎口中；喷涂时，眼跟着喷枪走，随时注意涂膜形成的状况和喷头的落点。喷枪与物面的喷射距离和垂直角度由身体控制，喷枪的移动同样要用身体来协助臂膀的移动，不可移动手腕，但手腕要灵活。

3）喷枪运行时，应保持喷枪与被涂物面成直角并平行运行。喷枪的移动速度一般在30~60cm/s内调整，并要求尽量保持匀速运动。喷枪距离被涂物面的距离在20~30cm之间。

4）操作时，每一喷涂幅度的边缘应当在前面已经喷好的幅度边缘上重复1/3~1/2，且搭界的宽度应保持一致。如果搭界宽度多变，膜厚将不均匀，可能产生条纹和斑痕。

5）为了获得更均匀的涂层和更好的防腐蚀效果，在喷涂第二道时，应与前道涂膜纵横交叉，即若第一道采用横向喷涂，第二道就应采用纵向喷涂。

6）每次喷涂时，应在喷枪移动时开启喷枪扳机，同样也应在喷枪移动时关闭喷枪扳机，这样可以避免造成在工件表面过多的涂料堆积而流挂常用涂装方法。

### 4.6.7 空气喷涂时喷枪的常见故障和排除方法是什么?

空气喷涂时，喷枪的常见故障和排除方法见表4-12。

**表4-12　喷枪常见的故障和排除方法**

| 故障现象 | 可 能 原 因 | 排 除 方 法 |
|---|---|---|
| 喷枪漏气 | 滚珠与气孔不密封<br>喷嘴没有拧紧 | 1. 用砂蜡将滚珠与气孔周围研磨光滑<br>2. 拧紧喷嘴，注意接口处的连接 |
| 扳机失灵 | 污物堵塞 | 将控制阀卸下，清除脏物，并用砂蜡将气阀研磨至密封 |
| 喷雾不良 | 1. 涂料粘度过大<br>2. 贮料罐涂料用完<br>3. 压缩空气压力过低<br>4. 出漆量过大<br>5. 压缩空气内有水分 | 1. 加入适当的稀释剂<br>2. 填充涂料<br>3. 调整并保持压力<br>4. 压力过大，减压<br>5. 放掉压缩空气气包内积水 |
| 出料单边 | 喷嘴上下侧气孔堵塞 | 卸下喷嘴，用溶剂浸泡，吹通 |
| 枪身漏料 | 1. 针阀后端填料失效<br>2. 压紧螺母太松<br>3. 喷嘴压紧螺母太松<br>4. 针形阀磨损 | 1. 更换填料<br>2. 拧紧螺母<br>3. 拧紧螺母<br>4. 以砂蜡研磨至紧密 |
| 压力容器漏气或漏油 | 轧头太松或垫片磨损 | 拧紧轧头或更换垫片 |

# 4.7　辊涂

### 4.7.1　什么是辊涂?

辊涂方法有手工辊涂和自动辊涂两种方法。

（1）手工辊涂　是用带有手柄的长绒辊筒，蘸浸涂料并涂到产品表面上，涂层经干燥成膜，多使用自干型涂料。

（2）自动辊涂法　是采用由多辊子组成的辊涂机进行辊涂施工的。涂装时，将调配好的涂料通过涂漆辊涂到被涂工件上，经干燥形成涂膜。

辊涂方法的主要特点：①手工辊涂法的优点是涂膜较均匀、质量较好，无流挂等缺陷；其缺点是边角不易辊到，需用刷子手工补涂；②由于自动辊涂法能使用较高粘度的涂料，污染小，又能进行自动化生产，涂装效率高，一次辊涂涂层可达到要求厚度，涂装过程中不产生漆雾，适用于平面状的被涂工件。

### 4.7.2　辊涂方法的工艺要求和应用范围分别有哪些?

辊涂方法的工艺要求有：①供料方式应当与涂料消耗量相适应；②经常检查涂膜厚度，并及时进行调整；③为了获得满意的涂覆效果，必须选用适当的周速比（涂覆辊/支持滚）；④合理选择、使用橡胶辊。

辊涂方法的应用范围：①手工辊涂法主要用于室内建筑的墙面涂装；②自动辊涂法广泛应用于金属板、胶合板、人造革、纸张、塑料薄膜及布与纸的涂装，特别适用于大批量连续涂装生产的金属平板或卷材工件的涂装。

### 4.7.3　辊涂的主要设备是什么?

辊涂方法中的主要设备是辊涂机。辊涂机主要由涂覆机构与转向支撑机构组成，金属卷材正面与背面同时涂装用的辊涂机构造如图4-22所示。

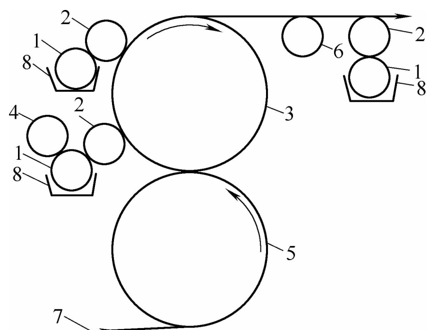



图4-22　金属卷材正面与背面同时涂装用的辊涂机构造
1—取料辊　2—涂覆辊　3—支持辊
4—调节辊　5—转向辊　6—顶托辊
7—卷材　8—涂料盘

辊涂机根据其运行的方式分为同向辊涂机和逆向辊涂机两种。

（1）同向辊涂机　是指涂敷辊的转动方向与被涂卷材（或板材）的移动方向相同的辊涂机。同向辊涂机适用于涂装速度小于100m/min的薄膜型涂装工艺。图4-23示为卷材辊涂用的同向辊涂机，图4-24所示为板材辊涂用的顶部供料同向辊涂机。

（2）逆向辊涂机　是指涂敷辊的转动方向与被涂卷材（或板材）的移动方向相反的辊涂机。逆向辊涂机可使用高粘度涂料，适用于涂装速度大于100m/min的厚膜涂装工艺。

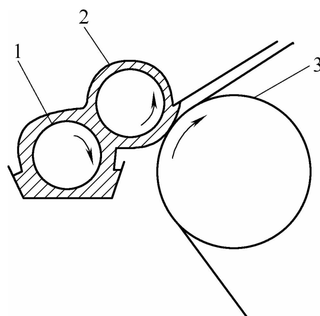



图4-23　卷材辊涂用的同向辊涂机
1—取料辊　2—涂敷辊　3—支持辊

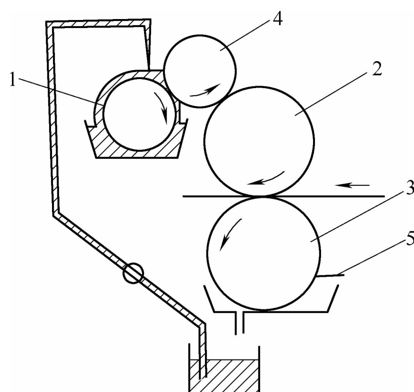



图4-24　板材辊涂用的顶部供料同向辊涂机
1—取料辊　2—涂敷辊　3—支持辊
4—调节辊　5—刮板

卷材逆向辊涂机有两种形式：

1）如图4-25所示，其辊涂机的涂敷辊与支持辊为逆向转动，但取料辊与涂敷辊是同向转动。这种辊涂机与同向辊涂机比较，适宜采用较高粘度涂料进行比较厚的涂膜涂装。通过调整取料辊与涂敷辊之间的间隙，可以调整涂膜的厚度（可获得的涂膜厚度为5~100μm）。

2）图4-26所示为卷材辊涂全逆向辊涂机，调节辊与取料辊、取料辊与涂敷辊、涂敷辊与支持辊都是逆向转动。这种辊涂机适用于高粘度触变性强的涂料和进行厚膜涂

装，借助调整调节辊与取料辊之间的间隙，可获得厚度为 50 ~ 500μm 的涂膜。

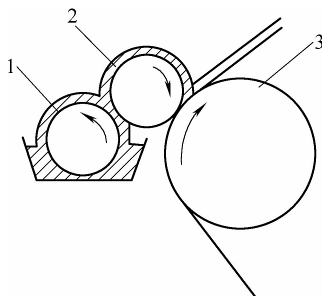



图 4-25　卷材辊涂逆向辊涂机

1—取料辊　2—涂敷辊　3—支持辊

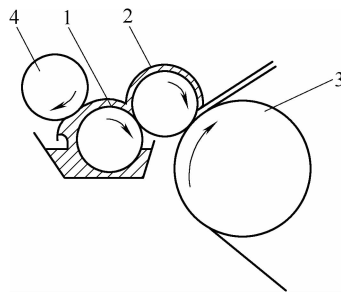



图 4-26　卷材辊涂全逆向辊涂机

1—取料辊　2—涂敷辊

3—支持辊　4—调节辊

### 4.7.4　如何操作辊涂机?

1）辊涂时，先启动辊涂机，让涂料流进涂料辊与分料辊构成的涂料槽中，并注意调节涂料的流量，既不能让涂料外溢，也不能使涂料缺少，需使之与涂料的用量相平衡。

2）调整涂层的厚度。涂层的厚度是由分料辊相对涂料辊的间隙宽窄而定。调整分料辊与涂料辊之间的间隙，使涂料在涂料辊上形成一定厚度且均匀的涂料的涂层。

3）将被涂件送入转动着的涂料辊与进料辊之间，便立即被进给并进行辊涂，然后按照上述步骤循环操作进行辊涂。

### 4.7.5　辊涂时的技术要点有哪些?

1）涂料辊和进料辊的线速度应保持一致，以避免涂料辊与被涂物表面之间产生滑动，使涂层不均匀，甚至无法进行涂饰。

2）辊涂机可涂饰 20 ~ 250s（涂 -4 杯）粘度的涂料，最适宜涂饰粘度为 100s 左右的涂料。

3）为了使得涂料辊与进料辊足够的进给力及压力，使涂料能在被涂面上很好地展开并形成均匀的涂层，辊涂时应调整好涂料辊与进料辊之间的宽度，并使其宽度小于被涂板式部件的厚度 2 ~ 3mm。

4）使用具有挥发性溶剂的涂料时，要求涂料溶剂的挥发速度不宜过快，否则一方面会影响涂层的流平性，另一方面易使涂料在涂料辊上胶凝，影响涂装效率。

### 4.7.6　辊涂有哪些优点?

1）能涂饰淋涂和喷涂无法涂饰的高粘度的涂料。特别适用于涂饰填纹孔涂料，且填纹孔的质量好。

2）涂饰质量好。辊涂方法获得的涂层宽度均匀，表面平整光滑，附着力强，且质量稳定可靠。

3）涂饰效率高辊涂机涂饰的效率高，其涂饰效率仅次于淋涂工艺。

4）涂饰辊涂机若与涂层干燥机连接在一起可以组成涂饰生产流水线，可实现涂饰

半自动化流水作业。

### 4.7.7　辊涂有哪些缺点?

辊涂方法的缺点是应用范围不广泛，只能涂饰表面平整的板式部件或木地板的表面，并要求其厚度一致。

因此辊涂方法的应用受到限制。目前主要是用于辊涂木地板，特别适用于大批量木地板的涂饰，其次是用于大批量家具板式部件的涂饰。

### 4.7.8　辊涂时常见缺陷产生原因及预防措施是什么?

辊涂时常见缺陷产生原因及预防措施见表 4-13。

**表 4-13　辊涂时常见缺陷产生原因及预防措施**

| 缺陷名称 | 产生原因 | 预防措施 |
| --- | --- | --- |
| 腻子凹陷 | 1. 腻子材料使用不当，如用滑石粉调配腻子批刮较大孔眼、裂缝<br>2. 腻子层过厚，导致腻子部位表面干燥快，内部干燥慢<br>3. 腻子批刮不实，腻子没有填实<br>4. 腻子层尚未干透，就急于涂饰面漆，腻子继续干燥收缩 | 1. 用石膏粉调配腻子批刮较大孔眼、裂缝<br>2. 控制腻子层厚度<br>3. 注意将腻子填实<br>4. 待腻子层干透后，再涂饰面漆 |
| 辊筒印痕 | 1. 涂料粘度过高<br>2. 涂层过厚<br>3. 涂料辊压力不足，压紧不良 | 1. 降低涂料粘度<br>2. 控制涂层厚度<br>3. 加大涂料辊对板件的压力 |
| 横向波纹 | 1. 涂料辊与刮辊的间隙过大<br>2. 涂料辊的转速大于支撑辊<br>3. 涂布量过大 | 1. 调整各辊筒的间隙<br>2. 调整辊筒的转速比<br>3. 调节涂布量 |
| 纵向皱纹 | 1. 板件表面不平整，翘曲变形<br>2. 涂料粘度过高或过低<br>3. 涂布量过大 | 1. 提高板件表面平整度，控制板件的形位公差<br>2. 控制涂料粘度<br>3. 调节涂布量 |

## 4.8　帘幕涂

### 4.8.1　什么是帘幕涂?

帘幕涂是涂料呈连续帘幕垂直流落、覆盖在被涂物表面的涂装方法。

帘幕涂方法的工作原理：涂料通过淋漆刀形成像窗帘那样的宽而薄的漆幕，且由于淋漆刀悬挂在被涂物输送带的上方，漆幕垂直于被涂物的表面。将被淋涂的工件放在传送带上，以一定的速度沿着水平方向前进，并从垂直的漆帘幕下穿过，此时漆幕就覆盖在被涂的工件上，这样获得涂层的方法就是帘幕涂。

### 4.8.2　帘幕涂有哪些优点?

1）涂装效率高。帘幕涂通常都采用机械自动化生产方式，由快速输送机构输送被

涂物，涂敷速度快。

2）涂膜厚度均匀稳定。由于涂料帘幕的厚度、流落的速度、被涂物的输送速度、涂布量等涂装条件都实行严格的控制，在连续生产过程中，能确保涂膜厚度均匀稳定。

3）涂料利用率高。帘幕涂的余漆通过收集装置返回涂料槽，也不产生漆雾飞溅，仅在涂料循环系统有少许溶剂挥发。

4）操作方便。所有工艺条件的调整都通过控制机构实旖，容易管理。设备清洗也较简便，只需起动循环泵，使清洗溶剂沿着循研管路循环，即可将设备清洗干净。

### 4.8.3　帘幕涂有哪些缺点？

1）不适应多品种小批量生产。为使涂料正常的循环，涂料的循环量不能少于规定的最少循环量，通常规定的最少循环量为 10L。因此更换涂料时，至少也要从涂料槽内排出相当于规定的最少循环量的涂料。更换涂料还需耗费清洗溶剂，所以多品种小批量生产不经济合算。

2）不适宜立体状的被涂物。帘幕涂时，相平行的垂直面是不可能同时涂装的，因此，像箱形之类的被涂物不适宜帘幕涂。

3）薄膜型涂装困难。为使涂料帘幕稳定、不断流，必须确保帘幕有一定厚度，因此，帘幕涂要获得膜厚 30μm 以下的涂膜比较困难。

### 4.8.4　常用帘幕涂设备有哪些？

常用帘幕涂设备有帘幕涂装机。帘幕涂装机是由帘幕头和附有加热冷却装置的涂料贮存罐、涂料接收器、输送涂料的循环泵等循环系统和输送带等组成，其结构如图 4-27 所示。

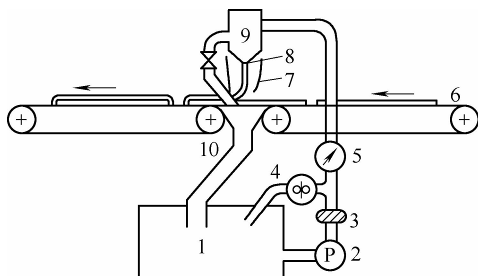



图 4-27　帘幕涂设备结构

1—涂料贮存罐　2—循环泵　3—过滤器　4—调节阀　5—压力表　6—输送带　7—防风玻璃　8—狭缝　9—帘幕头　10—涂料接收器

### 4.8.5　帘幕涂的工艺参数有哪些？

1）涂料粘度会对帘幕的稳定性产生影响，在涂料较稀时，帘幕易断开。一般在 30 ~ 150s 粘度范围内，可保证各种涂料有稳定的帘幕。涂料粘度还应根据涂料品种、被涂材质和涂膜厚度来确定。

2）狭缝宽度是影响帘幕稳定性和涂布量的最大因素。狭缝的适宜范围是 0. 5 ~ 0. 8mm。

3）涂料压力对涂布量影响较大。一般控制在 10 ~ 20kPa。

4）输送机速度一般在 70 ~ 90m/min。

帘幕涂工艺参数总体上可以按以下程序进行调整：根据涂层质量要求选定涂料品种→依涂膜厚度及材质确定涂料粘度→确定狭缝宽度→适当提高涂料压力、保证帘幕不断开→调节输送机速度、使之有适宜的涂布量。

### 4.8.6　常见的帘幕涂的工艺是什么？

常用帘幕涂工艺的实例见表 4-14。

表 4-14　常用帘幕涂工艺

| 底　　材 | 涂料品种 | 粘度/s | 涂布量/（g/m²） | 狭缝宽度/mm | 溢流阀开度（刻度） | 输送速度/（m/min） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 胶合板 | 氨基烘漆 | 32 | 70 | 0.5 | 2.5 | 110 |
| 木板 | 聚酯 | 150 | 190 | 0.6 | 4.0 | 70 |
| 石膏板 | 乳胶涂料 | 70 | 115 | 0.7 | 3.5 | 80 |
| 皮革 | 硝基涂料 | 20 | 80 | 0.6 | 4.0 | 70 |
| 金属 | 硝基清漆 | 25 | 70～100 | 0.6 | 4.0 | 70～90 |

### 4.8.7　帘幕涂时涂膜常见的缺陷及改进方法有哪些?

帘幕涂时涂膜常见的缺陷及改进方法见表 4-15。

表 4-15　帘幕涂时涂膜常见的缺陷及改进方法

| 涂膜缺陷 | 产生原因 | 改进方法 |
|---|---|---|
| 帘幕歪斜 | 1. 涂料帘幕流出狭缝过窄<br>2. 狭缝刃片变形或粘附有污物 | 1. 适当增加涂料帘幕流出狭缝宽度<br>2. 清理、维修或更换狭缝刃片 |
| 帘幕纵向裂开 | 1. 涂料中混入了气泡<br>2. 狭缝刃片粘附有污物 | 1. 调整涂料循环系统<br>2. 清理狭缝刃片，清除粘附的污物 |
| 帘幕横向断开 | 1. 帘幕流出狭缝过窄或过宽<br>2. 帘幕流落的速度过慢，被涂物输送速度过快 | 1. 适当调整狭缝宽度<br>2. 对帘幕流落速度与被涂物输送速度进行综合调整 |
| 涂膜厚度不稳定 | 1. 涂料中的溶剂挥发太快，粘度增高，涂膜增厚<br>2. 涂料泵运转发热或涂料槽的恒温加热温度过高，使涂料粘度降低，涂膜减薄 | 1. 增加稀释剂中的高沸点组分<br>2. 调整涂料槽恒温加热温度，适当降低涂料温度 |
| 涂膜有气泡 | 涂料循环系统中涂料的压力与高位压力涂料槽内涂料的压力相差明显 | 通过调整溢流阀调节高位压力涂料槽内的压力，减小压力差 |

## 4.9　高压无气喷涂

### 4.9.1　什么是高压无气喷涂?

高压无气喷涂简称无气喷涂，是一种不需要借助压缩空气喷出，而是借助施加高压的方法使涂料在喷出时雾化的工艺。

高压无气喷涂的原理如图 4-28 所示，它是利用高压泵将涂料加压到 11～25MPa，使涂料从喷嘴中喷出，并以高达 100m/s 的速度与空气发生激烈的高速冲撞，使涂料破碎成微粒，在涂料粒子的速度未衰减前，涂料粒子继续向前与空气不断地多次冲撞，涂料粒子不断地被破碎、雾化，并最终被喷涂在被涂物上。在喷涂过程中，它是借助高压泵，使涂料增压，而压缩空气不直接与涂料接触，因此被增压的高压涂料中不混有压缩

空气，故称为高压无气喷涂。

高压无气喷涂是基于提高涂装作业效率、减少涂料损失和减少对大气污染的目的提出的，有着较为普遍的应用。

### 4.9.2　高压无气喷涂的有哪些优点？

1）无气喷涂的涂装效率比刷涂高 10 倍以上，比空气喷涂高 3 倍以上，可达到 400～1000$m^2$/h。

2）无气喷涂避免了压缩空气中的灰尘、油滴和水分等对涂料所造成的弊病，可以保证喷涂的质量。

3）由于雾化涂料中不混有压缩空气，因此避免了在缝隙、拐角等死角部位因气流反弹对雾化涂料的沉积造成不良影响。

4）雾化涂料分散少，涂料喷涂粘度较高，稀释剂用量减少，减少了对环境的污染。

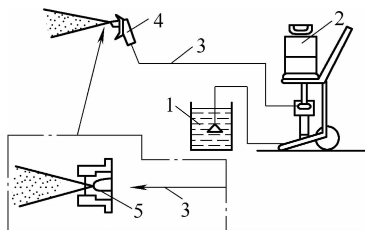


图 4-28　高压无气喷涂的原理
1—涂料容器　2—高压泵
3—高压涂料输送管
4—喷枪　5—喷嘴

5）对防锈处理后的粗糙表面、凹处、缝隙等喷涂，喷涂质量较好。

高压无气喷涂工艺已在船舶、汽车车辆、桥梁、钢结构件、建筑及机械行业中有着广泛的应用，能满足这些领域各种涂装加工的需要。

### 4.9.3　高压无气喷涂有哪些缺点？

1）高压无气喷涂的喷枪不具有涂料喷出量和喷雾图形幅宽调节机构，调节时只能更换喷嘴，所以在喷涂作业过程中不能调节喷出量和喷雾图形幅宽。

2）涂膜的外观质量比空气喷涂差，对于装饰要求较高的薄层喷涂不宜使用。

3）无气喷涂的涂料喷出压力太高，操作不当易产生人员安全事故。

### 4.9.4　常用高压无气喷涂设备有哪些？

高压无气喷涂设备主要包括：动力源、高压泵、蓄压过滤器、输漆管、涂料容器、喷枪等组成。无气喷涂的设备组成如图 4-29 所示。

### 4.9.5　动力源的种类有哪些？

涂料加压用高压泵动力源有压缩空气、油压和电源三种。

目前，主要以压缩空气动力源为主，其具有操作简单、方便安全的优点。

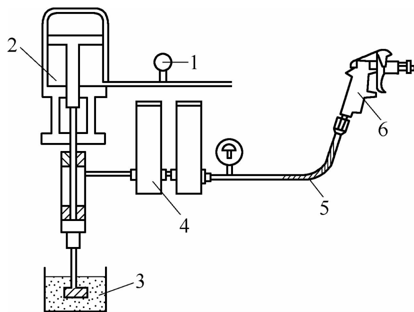


图 4-29　无气喷涂的设备组成
1—动力源　2—高压泵　3—涂料容器　4—蓄压过滤器
5—输漆管　6—喷枪

压缩空气动力源的装置包括空气压缩机、输气管、阀门和油水分离器等组件。以油压作动力的油压高压泵和电源作动力的电动高压泵相对气动高压泵发展较晚。油压动力源装置包括油压泵、油槽和过滤器等；电动动力源装置则由电源线路及相关的控制装置组成。

### 4.9.6　按工作原理分高压泵的种类有哪些？

高压泵按工作原理可分为单动型和复动型两种。

1）单动型一般采用电动机借助偏心轴驱动柱塞上下运动，其工作原理如图 4-30 所

示。当柱塞向下运动时，缸底球阀关闭，涂料被压送输出；当柱塞向上运动时，缸底球阀开通，涂料被吸入的同时，涂料被终止输出。单动型高压泵具有结构简单的特点，但相关零部件的使用寿命短，还会出现涂料输出流量不平衡或高粘度涂料吸入不良的问题。但复动型涂料弥补了这些缺点。

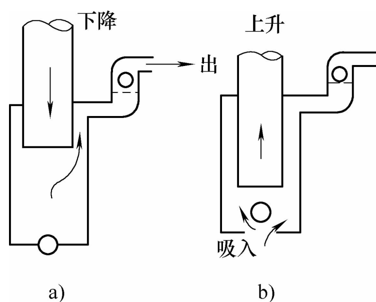


图4-30　单动型高压泵的工作原理
a）柱塞向下　b）柱塞向上

2）复动型高压泵的工作原理如图4-31所示，它的柱塞向上或向下运动时都能输出涂料，供喷枪喷涂。这种高压泵的特点是运行平稳，涂料的压力波动小，零部件磨耗小，使用寿命长。以气压和油压为动力的高压泵属于复动型，其加压原理如图4-32所示，泵的上部气压 $P$（或液压）驱动加压活塞，使其推动泵下部的柱塞，给涂料施加压力，加压活塞的面积 $A$ 与柱塞面积 $a$ 之比越大，所产生的涂料压力 $p$ 也就越高，涂料压力 $p$ 的计算公式所示

$$p=\frac{A}{a}P$$

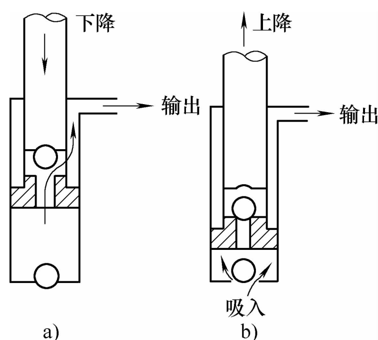


图4-31　复动型高压泵的工作原理
a）柱塞向下　b）柱塞向上

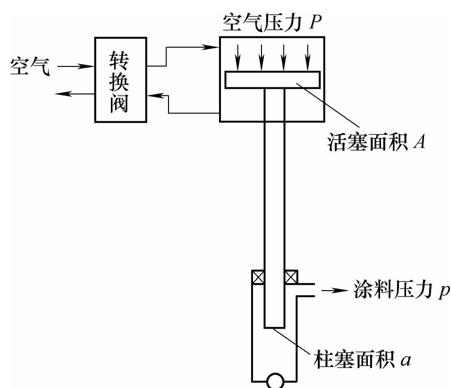


图4-32　复动型高压泵的加压原理

### 4.9.7　按动力源种类分高压泵的种类有哪些？

高压泵按动力源的种类不同可分为气动高压泵、油压高压泵和电动高压泵三种。

1）气动高压泵以压缩空气为动力，使用的压缩空气压力一般为0.4～0.6MPa，最高可达0.7MPa，这种高压泵具有操作安全、设备结构简单、易操作的特点，但动力消耗大，噪声严重。

2）油压高压泵是以油压作动力，通常使用的油压为5MPa，最高油压可达7MPa，其特点是动力利用率高，比气动高压泵利用率高5倍，噪声低，使用安全，易维护，成本低，且可同时驱动几台高压泵。但油压泵需要专用的油压源，所用油可能混入涂料中，影响漆膜质量。

3）电动高压泵是以交流电源提供驱动力，涂料喷出压力可高达25MPa，这种高压

泵具有移动方便、成本低、噪声较低的特点。

### 4.9.8　高压无气喷涂用喷枪的喷嘴有哪些种类?

涂料喷嘴是喷枪的重要部件，喷嘴孔的几何形状和表面粗糙度会直接影响涂料的雾化、喷流图样和涂膜质量。涂料的雾化效果与喷出量、喷雾图形的形状与幅宽都是由涂料喷嘴的几何形状、孔径大小与加工精度决定的。

涂料喷嘴可分为标准型喷嘴（见图 4-33）、圆形喷嘴（见图 4-34）、自清型喷嘴（见图 4-35）和可调喷嘴（见图 4-36）。

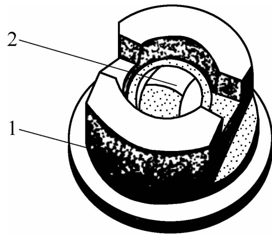



图 4-33　标准型喷嘴
1—喷嘴　2—橄榄型开口

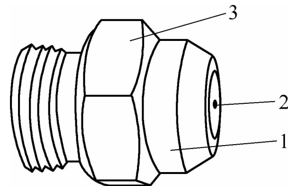



图 4-34　圆形喷嘴
1—喷嘴　2—圆形开口　3—紧固螺母

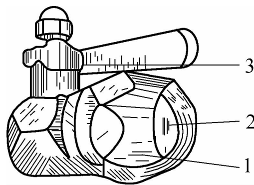



图 4-35　自清型喷嘴
1—喷嘴　2—喷嘴开口　3—换向反冲阀

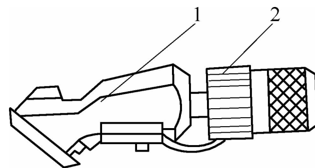



图 4-36　可调喷嘴
1—喷嘴　2—调节阀

标准型喷嘴使用最为普遍；圆形喷嘴主要用于喷涂管道内壁及其他狭窄部位；自清型喷嘴可以通过调节换向机构，清除掉堵塞物；可调喷嘴可以通过调节塞，在不停喷涂工作的情况下，根据喷涂要求，调节喷涂物得喷出量和喷雾图形幅宽。

### 4.9.9　常见高压无气喷涂工艺参数有哪些?

常见高压无气喷涂工艺参数见表 4-16。

**表 4-16　常见高压无气喷涂工艺参数**

| 常用涂料名称 | 涂料粘度/s | 喷嘴口径/mm | 喷涂压力/MPa |
|---|---|---|---|
| 硝基漆 | 25 ~ 35 | 0. 25 ~ 0. 33 | 8 ~ 10 |
| 热塑性丙烯酸树脂漆 | 25 ~ 35 | 0. 25 ~ 0. 33 | 8 ~ 10 |
| 合成树脂调合漆 | 40 ~ 50 | 0. 65 ~ 1. 8 | 10 ~ 11 |
| 醇酸树脂漆 | 30 ~ 40 | 0. 33 ~ 0. 45 | 9 ~ 11 |
| 热固性丙烯酸树脂漆 | 25 ~ 35 | 0. 27 ~ 0. 33 | 10 ~ 12 |
| 氨基醇酸烘干漆 | 25 ~ 35 | 0. 27 ~ 0. 33 | 10 ~ 12 |

（续）

| 常用涂料名称 | 涂料粘度/s | 喷嘴口径/mm | 喷涂压力/MPa |
|---|---|---|---|
| 环氧树脂漆 | 35～40 | 0.45～0.77 | 12～13 |
| 乳胶漆 | 35～40 | 0.45～0.77 | 12～13 |
| 环氧沥清漆 | 40～50 | 0.65～1.8 | 15～18 |

### 4.9.10　高压无气喷涂时喷涂设备如何起动？

在起动高压泵之前，操作者应熟悉高压喷涂系统各组件及其性能，然后按要求连接相关组件。然后起动高压泵，确保高压泵正常运转后，关闭喷枪开关，用高压泵吸取涂料并加压，等涂料压力达到15MPa左右时，检查设备各处是否存在泄漏，一切正常后，便可将喷嘴和密封垫安装在喷枪上。向涂料泵供气并增加泵内气压，使高压泵正常运行，检查喷枪喷嘴处涂料喷出情况和喷雾形状。若液压不足，应以每次34.5kPa的增幅逐渐增加高压泵气压，使在较低气压下尽可能得到理想雾化图形时，便可以进行喷涂操作。

### 4.9.11　如何进行高压无气喷涂？

（1）正确的喷涂姿势　正确的喷涂姿势可以使喷涂操作得心应手。操作时，应注意身体、喷枪和软管三者之间的位置协调。操作者站立喷涂时，双脚略宽于肩，一手握软管，一手握喷枪进行操作，如图4-37所示。

（2）正确的喷枪操作方式　用手握喷枪时，食指和中指扣住扳机，但不能太紧，如图4-38所示。喷涂时，枪身应与喷涂表面保持垂直，喷枪的运行轨迹应与喷涂表面保持平行，这样才能保证涂层厚度均匀一致。操作时，若只用手腕带动喷枪运动，则会产生大量飞漆，且在工件与喷枪成垂直方向的位置落漆较多，而不垂直的其他位置落漆较少。因此，操作者的手腕、肘部和肩部喷涂时都需同时运动，只是手腕和前臂运动会造成喷枪作弧形运动，使喷枪运行与施涂表面不平行，图4-39为无气喷涂时的喷枪操作技巧。喷拐角时，喷枪应对准拐角的中心，以确保两侧得到均匀的涂层，拐角处的喷涂方法如图4-40所示。

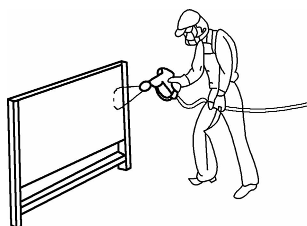


图4-37　喷涂操作姿势

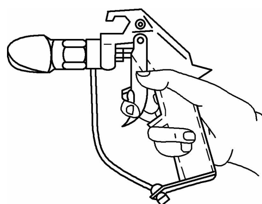


图4-38　喷枪手握方法

（3）喷枪与工件表面间的距离　喷涂时，整个喷涂过程应保持距离不变，一般为25～40cm。喷涂距离过近，易形成反弹或过喷；距离过远，易使漆雾不能完全并均匀地落到工件表面上，造成喷漆率下降。

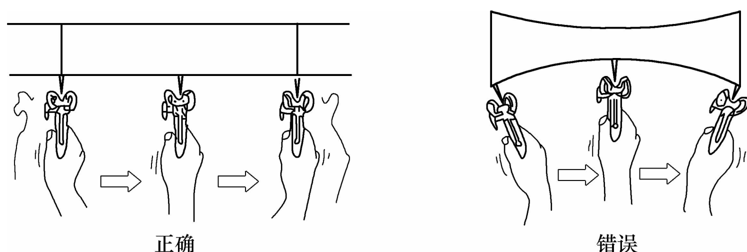



图 4-39　无气喷涂时的喷枪操作技巧

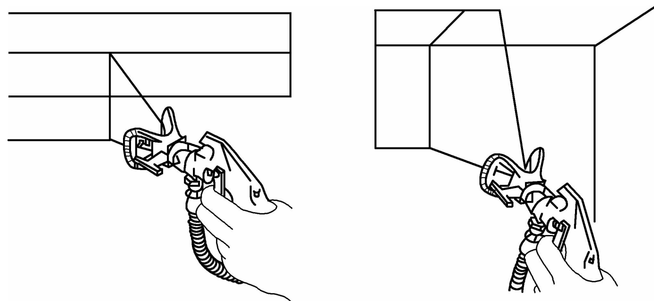


图 4-40　拐角处的喷涂方法

（4）喷枪的移动速度　在喷涂时，为了保持涂料的合适流出量，喷枪需保持一个合理的移动速度。喷枪移动速度过慢，涂料流出量增大，涂膜会出现桔皮或流挂现象；相反，喷枪的移动速度过快，则会造成施涂表面的喷漆率过低，此时应适当降低喷枪的移动速度。

（5）正确的喷嘴孔径和喷幅宽度　在喷涂过程中，相同的喷幅宽度，孔径越大，成膜越厚；相同的喷嘴孔径，喷幅宽度越大，成膜越薄，如图 4-41 所示。

（6）喷雾图形的正确搭接　为了在工件上形成均匀的涂层，喷涂时，每一次喷涂行程喷枪的喷涂位置均需要一定的搭接。由于无气喷涂压力大，且喷涂扇面内的流量及压力比较均匀，因而喷雾图形内涂膜的厚度比较均匀，其间的搭接量在保证搭接上的基础上也可以小一些，以减少漏喷现象。

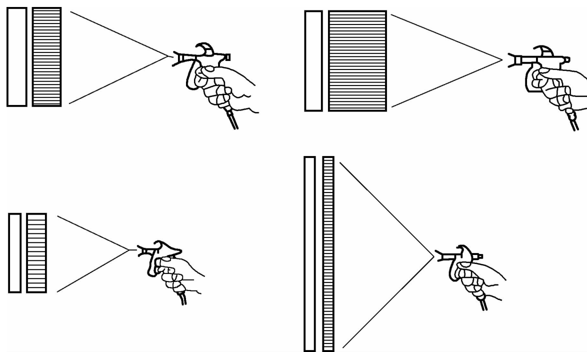


图 4-41　喷嘴孔径、喷幅宽度与成膜厚度关系图

为了达到节约涂料和防止涂料在行程两端堆积的目的，每次喷涂行程时，应先移动喷枪后开扳机，结束时应先关扳机，然后停止移动。获得高质量的喷雾图形是无气喷涂的难点，通常主要通过以下三方

面达到对喷涂图形的控制：①选择合适的孔径和开口角度的涂料喷嘴，以获得所需要的涂料流量和喷雾角度；②调整液压；③改变涂料粘度。

### 4.9.12　高压无气喷涂时如何停机？

在无气喷涂操作完成后，停机的操作步骤如下：

1）关闭空气调压器。

2）将高压泵、涂料入口或虹吸软管从涂料容器中取出。

3）卸除液压。

4）卸下喷枪的密封垫和堵帽，放到溶剂中清洗。

5）把高压泵的底阀或虹吸软管放到溶剂中清洗。

6）将系统中残留的涂料排尽。

7）用溶剂清洗整个系统。

8）清除系统中的溶剂。

9）用煤油为主要成分的石油溶剂充满整个系统，进行封存保护。

10）停泵。

### 4.9.13　高压无气喷涂中常见的设备故障及其排除方法是什么？

高压无气喷涂中常见的设备故障及其排除方法见表4-17。

**表4-17　高压无气喷涂常见故障及排除方法**

| 故障现象 | 可 能 原 因 | 排 除 方 法 |
|---|---|---|
| 泵产生空吸动作，无涂料输出 | 1. 管路中吸入空气<br>2. 管道、滤网、喷枪、喷嘴堵塞<br>3. 柱塞松动、脱落<br>4. 涂料粘度大，吸不进柱塞泵<br>5. 涂料桶空了<br>6. 管路接头泄漏或管路太窄 | 1. 打开放泄阀，放去空气<br>2. 拆开清洗、更换<br>3. 拧紧、重新装配<br>4. 稀释涂料或加热<br>5. 添加涂料<br>6. 拧紧或更换 |
| 漆压不足 | 1. 进风压力太小<br>2. 密封圈磨损<br>3. 柱塞缸零部件产生磨损泄漏<br>4. 喷嘴被磨损 | 1. 增大风压，应大于0.4MPa<br>2. 更换密封圈或在其上涂润滑油<br>3. 检查、调整、更换<br>4. 更换磨损部件 |
| 压力波动大 | 1. 喷嘴孔径太大<br>2. 柱塞单向阀动作失灵<br>3. 蓄压器等有关部件泄漏 | 1. 选择合适的喷嘴孔径<br>2. 清洗或更换单向阀钢球<br>3. 检查、维修、更换 |
| 雾化不足 | 1. 漆压不高<br>2. 喷嘴不合适或喷嘴磨损<br>3. 涂料粘度太大<br>4. 空气管道或空压机堵塞 | 1. 调整压力比<br>2. 更换合适孔径的喷嘴<br>3. 适当添加稀释剂<br>4. 清除管路堵塞 |
| 喷嘴堵塞 | 1. 喷嘴过滤器被堵塞或损坏<br>2. 涂料中有异物或过滤不良<br>3. 涂料搅拌不足<br>4. 喷枪清洗不良 | 1. 清洗或更换过滤器<br>2. 加强涂料过滤<br>3. 搅拌均匀<br>4. 拆洗喷枪、喷嘴 |

（续）

| 故障现象 | 可 能 原 因 | 排 除 方 法 |
|---|---|---|
| 喷枪漏漆 | 1. 喷枪针形阀磨损<br>2. 密封填料损坏<br>3. 顶针复位弹簧失效<br>4. 调节螺母位置不当 | 1. 研磨或更换<br>2. 更换密封填料<br>3. 更换弹簧<br>4. 调整正确位置 |
| 压力表有显示，但无涂料输出 | 1. 高压软管堵塞<br>2. 喷枪管道被堵<br>3. 中间加热器内涂料过热阻塞 | 1. 检查、清洗或更换软管<br>2. 拆洗零部件<br>3. 拆开并清洗 |

## 4.9.14　高压无气喷涂施工工程中的异常现象及解决措施有哪些?

高压无气喷涂施工工程中的异常现象及解决措施见表4-18。

**表4-18　高压无气喷涂施工中的异常现象及解决措施**

| 异常现象 | 可 能 原 因 | 解 决 措 施 |
|---|---|---|
| 流挂 | 喷涂操作错误 | 可能由于操作者不熟悉无气喷涂，使湿膜厚度远远超过规定要求 |
| | 喷枪距被涂工件太近 | 通常喷枪应与被涂表面保持约1ft（30cm）的距离 |
| | 喷枪行枪角度不对 | 行枪时，喷枪应与被涂表面垂直 |
| | 喷枪控制器没开到最大、过度重叠 | 喷涂时湿膜间应稍微重叠，行枪结束应及时关闭喷枪 |
| | 过量堆积 | 除上述可能，检查喷嘴选择是否正确，喷嘴是否损坏 |
| | 过量稀释 | 每种涂料都有规定的粘度、固体含量和涂膜厚度，不能在涂料稀释后，仍按规定的涂膜厚度施工。因此，除非确实需要，不能稀释涂料 |
| 条痕（鼠尾） | 喷嘴选用错误 | 选用较小的喷嘴 |
| | 喷嘴损坏 | 换用新的喷嘴 |
| | 喷涂行程重叠错误 | 应准确沿着前面的湿膜进行喷涂 |
| | 涂料温度太低 | 增加压力或加热涂料 |
| | 粘度过高 | 增加压力或稀释涂料 |
| 涂膜太厚 | 喷涂操作错误 | 见“流挂”现象，选用较小喷嘴，使喷枪与被涂表面成直角 |
| 干喷 | 雾化过度 | 降低压力 |
| | 喷嘴太小 | 换用较大喷嘴 |
| | 操作错误 | 缩短喷枪与被涂表面的距离，在边缘处瞄准到位后开枪，使喷枪与被涂表面成直角 |

（续）

| 异常现象 | 可能原因 | 解决措施 |
| --- | --- | --- |
| 漆雾过多 | 雾化过度 | 降低压力 |
| | 喷枪距被涂表面太远 | 喷漆时使喷枪与被涂表面的距离保持在1ft（30cm）左右 |
| | 稀释剂用量太多 | 只能加入规定量的稀释剂 |
| 针孔 | 涂膜太厚 | 减小湿膜厚度 |
| | 雾化不足 | 增加压力 |
| 橘皮 | 稀释不够 | 加入规定量的稀释剂 |
| | 涂料温度太低 | 加热涂料 |
| | 不能形成湿膜 | 检查稀释剂是否正确 |
| 起泡 | 被涂表面有铁锈或油脂 | 喷涂前彻底脱脂 |
| | 被涂表面有水 | 被涂表面温度须在露点以上 |
| | 溶剂在表干涂层下聚积 | 使用低挥发性溶剂 |

### 4.9.15　新型高压无气喷涂设备有哪些?

为适应各种涂装需要，充分发挥无气喷涂的优点，并弥补某些不足，将高压无气喷涂设备与其他喷涂方法相结合形成了一些新型的高压无气喷涂设备，如空气辅助无气喷涂设备、双组分无气喷涂设备和富锌涂料无气喷涂设备。

1. 空气辅助无气喷涂设备

空气辅助无气喷涂同时兼有无气喷涂的可喷涂粘度较高的涂料、速度快、喷涂效率高、能获得较厚漆膜和空气喷涂雾化效果好、漆膜装饰性好、抑制漆雾分散、改善喷涂作业环境的优点。这种喷涂方式能保持良好的雾化效果，有利于完成对凹槽和空腔部位的喷涂，喷涂适用面广。

2. 双组分高压无气喷涂设备

双组分喷涂设备是将涂料两组分的混合与喷涂两过程同时进行，达到喷涂工件的目的。这种设备适用于喷涂双组分涂料，这类涂料的两组分混合后必须在规定时间内用完，否则会固化凝结给喷涂过程带来不便。双组分无气喷涂设备按涂料混合方式的不同可分为内混式和外混式两种。内混式相比外混式应用更广，其设备起主要作用的部件为混合器导管内的液流分割器。双组分涂料进入混合器后，流经液流分割器时被不断分割、变向和转移，从而使涂料充分混合。外混式设备的混合方式主要为双组分涂料从喷嘴中喷出后，在雾化过程中混合。

3. 富锌涂料高压无气喷涂设备

富锌涂料具有优异的耐蚀性和耐候性，且防护寿命长，在严酷的环境条件下有着广泛的应用。由于这种涂料沉淀速度快，易堵塞喷涂系统，且涂料中锌粉含量高，极易损坏高压泵等送压机构，需要专用的高压无气喷涂设备。富锌涂料高压无气喷涂设备就是根据富锌涂料的特点设计的。这种无气设备中，高压泵的加压活塞运动速度较慢，并配

有专门的搅拌装置，能有效地减少富锌涂料的沉降结块；送压机构需用耐磨材料制造，并配备专用喷枪、喷嘴和高压软管；压缩空气和涂料输送管口径较大；为了便于维护，加压泵常设为分体式。

#### 4.9.16　空气辅助无气喷涂有哪些特点？

（1）喷涂压力低　空气辅助无气喷涂喷涂压力低，能够延长高压泵和喷枪的使用寿命，还可以降低涂料输送管道的耐压强度要求。

（2）喷雾图形可以任意调节　喷枪上设有喷雾图形调节装置，可根据喷涂工件的形状任意调整喷雾图形的幅宽，操作简单方便。

（3）雾化效果好　空气辅助无气喷涂的漆雾粒径能达到 70μm，粒子细，喷雾效果好，可以提高漆膜的装饰性。

（4）涂着率高　由于这种方法喷涂漆雾分散少，因而涂着率高。喷涂平板工件时，涂着率可达到 75%。

#### 4.9.17　双组分高压无气喷涂设备操作时有哪些注意事项？

1）合适的双组分涂料混合比是确保喷涂质量的关键，在喷涂作业前，需要根据涂料的质量比，调整好双组分涂料的混合比。

2）喷涂过程中，若需长时间停机，应将混合器的主剂与固化剂控制阀关闭，打开清洗溶剂控制阀，将喷嘴清洗干净，并起动清洗泵，以防残留在混合器内的双组分涂料固化。

3）喷涂作业结束后，应将高压泵、混合器、涂料输送管道和喷枪中残留涂料清洗干净。

## 4.10　静电喷涂

#### 4.10.1　什么是静电喷涂？

静电喷涂，又称高频静电喷涂，是一种利用高压静电场实现对工件喷涂的加工方法。静电喷涂具有喷涂效率高、涂层均匀、污染少等优点，是生产中应用最为普遍的涂装工艺之一。

静电喷涂的原理如图 4-42 所示。静电喷涂是在喷枪（或喷盘）与喷涂工件之间形成高压静电场，通常喷枪口为阴极，喷涂工件为阳极，当两电极之间的电场强度足够高时，喷枪口处的空气产生电晕放电现象，使空气发生电离。当涂料粒子通过喷枪口带上电荷，成为带电粒子，在通过电晕放电区时，进一步与被电离的空气相结合，不断雾化，然后在高压静电场的作用下，向极性相反的被涂工件运动，吸附于工件表面，形成均匀涂层。

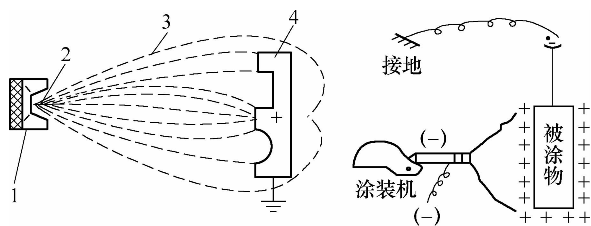



图 4-42　静电喷涂的原理

1—静电喷枪　2—负高压电极　3—电力线　4—被涂工件

静电喷涂时，电场强度不能过高，若超过电场强度极限时，喷枪口与被涂工件之间的空气层完全电离并被击穿而形成电火花，易发生火灾的危险，因此，静电喷涂时，应选择合适的电场强度，实际生产中的电场强度常为 60～100kV。

### 4.10.2　静电喷涂有哪些特点?

静电喷涂是一种适用面广的喷涂加工方法，广泛地应用于汽车、仪器仪表、电器、农机、家电产品、日用五金、钢制家具、门窗、燃气机等工业领域，静电喷涂具有的特点如下：

（1）涂料利用率高　相对于一般空气喷涂时涂料 30%～60% 的利用率，静电喷涂涂料粒子受电场作用力被吸附于工件表面，显著减少了涂料粒子的飞散与回弹，涂料利用率显著提高，高速旋杯静电喷涂涂料的利用率达到 90%。

（2）涂装产品质量好　通过对喷枪的配置及喷涂参数的调节，可使涂料雾化充分，获得均匀、平整、光滑、丰满的涂层，达到提高涂膜外观装饰性的目的。

（3）生产效率高　静电喷涂适于大批量的自动化生产，可实现多支喷枪同时喷涂，生产效率比空气喷涂提高 1～3 倍。

（4）被涂工件质量要求高　静电喷涂要求被涂工件必须是电导体，所以主要适用于对导电性能好的金属材料的喷涂；对非导体材料，如塑料、木材、橡胶、玻璃等，需要进过表面预处理后才能使用静电喷涂。

（5）涂料质量要求高　静电喷涂对涂料的电性能有一定的要求，并易受环境温度和湿度的影响，所以为满足静电喷涂的要求，需要调整涂料至合适的成分。

（6）涂层质量易受影响　静电喷涂涂层的均匀程度受工件大小和外形影响较大，复杂形状的工件因受电场屏蔽或电力线分布不均匀的影响，喷涂质量难以保证。

（7）需要安全保护　静电喷涂存在高压电火花放电引起火灾的危险，因此，在静电喷涂室中需要设置安全灭火装置。

### 4.10.3　静电喷涂对涂料的要求有哪些?

1. 涂料粘度

粘度越高，雾化性能越差，但从质量角度考虑，为了增强漆膜的光泽和丰满度，最好采用固体含量高的涂料，也可以采用加热方式来使用粘度稍高一些的涂料。

2. 涂料的电性能

根据静电喷涂的原理，涂料粒子在电场中携带电荷的能力必然与涂料的电性有关系，其中最主要的参数就是涂料的介电常数。一般来说，普通涂料的极性很低，阻抗往往大于 100 MΩ，为了使涂料能够适应静电喷涂，必须用介电常数较高的稀释剂、溶剂或者专用稀释剂来调整涂料的阻抗，使之在 5～50MΩ 之间。调整阻抗时，还必须兼顾涂料的流平性，即配以高沸点溶剂，控制溶剂的挥发速率，达到较好的流平目的。

### 4.10.4　静电喷涂的常用涂料及涂装方式有哪些?

静电喷涂的常用涂料及涂装方式见表 4-19。

### 4.10.5　常用静电喷涂的溶剂及其极性是什么?

常用静电喷涂的溶剂及其极性见表 4-20。

表4-19　静电喷涂的常用涂料及涂装方式

| 涂料名称 | | 施工电阻/MΩ | 施工粘度/s | 涂装方式 |
|---|---|---|---|---|
| 氨基烘漆 | 清漆 | 5～15 | 16～24 | 各种静电喷涂方式 |
| | 色漆 | 8～20 | 18～24 | |
| 沥青漆 | | 20～50 | 20～28 | 固定旋杯式静电喷涂 |
| 醇酸树脂漆 | | 8～20 | 18～25 | 各种静电喷涂方式 |
| 硝基漆 | | 10～20 | 15～20 | 手提式静电喷涂 |
| 过氯乙烯树脂漆 | | 10～20 | 16～23 | 手提式静电喷涂 |
| 丙烯酸树脂漆 | | 10～20 | 16～24 | 各种静电喷涂方式 |
| 环氧树脂漆 | | 10～20 | 18～24 | 各种静电喷涂方式 |

表4-20　常用静电喷涂的溶剂及其极性

| 高　极　性 | 中　极　性 | 低　极　性 | 非　极　性 |
|---|---|---|---|
| 甲醇 | 丁醇 | 甲基戊醇 | 甲苯 |
| 乙醇 | 醋酸甲基戊醇 | 乳酸乙酯 | 二甲苯 |
| 异丙醇 | 乙二醇乙醚 | | 白醇 |
| 双丙酮醇 | 乙二醇丁醚 | | 正乙烷 |
| 丙酮 | 醋酸乙二醇乙酯 | | 200#溶剂汽油 |
| 丁酮 | | | |
| 醋酸乙酯 | | | |

### 4.10.6　影响静电喷涂质量的因素有哪些?

（1）静电高压　电压是静电喷涂的重要影响因素，与喷涂效率关系密切，电压升高有利于提高喷涂效率，当电压低于40kV时，喷涂效率为20%；但当电压增加到60kV时，喷涂效率可达80%以上。电压高有利于涂料粒子带电，但也要考虑安全因素，防止击穿，一般电压控制在90kV左右。

（2）旋杯或旋盘的转速　在旋杯或旋盘式静电喷涂系统中，旋杯或旋盘的高速旋转离心力是涂料初期雾化关键因素。涂料经过离心力作用初期雾化后，在高压电场中进一步雾化，最终喷涂到被涂工件的表面。在高压电场中，带电涂料粒子受到电场力和自身重力的作用，涂料粒子在自身重力作用下沉降。旋杯或旋盘转速越高，越有利于雾化，雾化粒子越细，沉降速度越小，但转速过高，涂料粒子运动速度过快，对涂料粒子在电晕区充分荷电不利，影响喷涂效率和喷涂质量。因此要根据旋杯或旋盘的大小、电场强度、涂料的介电常数等确定旋杯或旋盘合适的转速。

（3）喷枪与工件之间的距离　一般1cm间隔的空气能承载10kV电场作用，所以从理论上来说，如果电场强度为90kV，极间距至少为9cm，低于此值就有空气被击穿、引起火灾的危险。结合喷涂质量、喷涂效率及安全性，一般90kV的电场强度下，喷涂距离常为30～35cm，距离过远会显著影响到喷涂效率。

（4）涂料粘度　涂料粘度越高，雾化性能越差，对喷涂效率和喷涂质量有很大影

响。增加涂料的固体含量会增加涂料粘度，使涂层丰满光泽好，为此一般采用提高喷涂温度的方法以静电喷涂高粘度涂料。

（5）涂料的电性能　涂料的相关电性能与涂料粒子在电场中的荷电能力有很大关系，其中最主要的参数是涂料的介电常数。通常，极性低的普通涂料需要用介电常数高的溶剂或专用静电稀释剂来调整涂料的阻抗，同时，还需配以某些高沸点溶剂以控制溶剂的挥发速度，使涂料具有好的流平性，提高涂层的装饰性。

（6）喷枪的布置　对于喷雾图形为环状的旋杯式静电喷枪，为使涂膜厚度均匀，需采用多把喷枪喷涂。多把喷枪的布置需要根据工件的形状及喷枪间涂料雾的作用情况综合考虑。

（7）喷杯口径　喷杯口径越大，涂料雾越细，但随之中空区也就越大，因此应根据工件形状与宽度，选择合适的喷杯口径，以达到涂膜厚度均匀的目的。

（8）喷出量　涂料喷出量越小，越有利于雾化涂料粒的微粒化；相反，喷出量越大，有些涂料粒无法在枪口处带上电荷，静电效果无法得到有效发挥。因此，一般要求在确保涂装质量和喷涂效率的前提下，选择合适的喷涂量。

（9）工件的悬挂　工件是否合理悬挂对喷涂的效率影响很大，工件应以互相不碰撞为原则，尽量缩短工件间的间隔，且避免挂具的前后摆动。装挂的工件应离传送链或地面1m以上，否则会影响涂料在工件上的附着率。应定期清洗挂具挂钩上附着的涂料，保证工件接地良好，防止装卸工件时安全事故的发生。

### 4.10.7　常用手提式静电喷涂设备是什么？

常用手提式静电喷涂设备如图4-43所示。

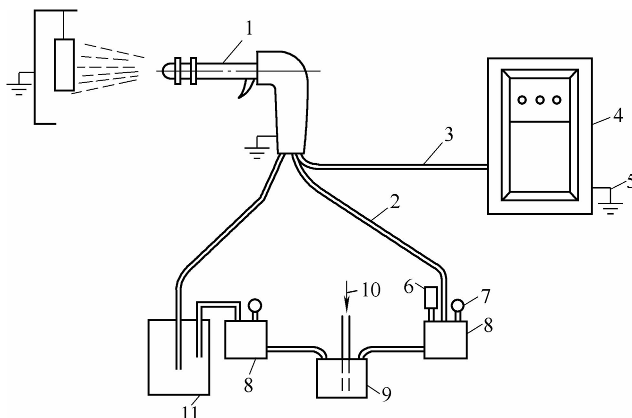



图4-43　手提式静电喷涂设备

1—手提式静电喷枪　2—压缩空气管　3—高压电缆　4—高压静电发生器
5—接地　6—空气开关　7—压力表　8—贮气罐　9—油水分离器
10—压缩空气　11—压力供料装置

### 4.10.8　如何操作手提式静电喷涂设备？

手提式静电喷涂设备工具的安全操作按下列步骤进行：

1）喷涂前，严格按工艺规程，调整好设备的各项操作工艺参数。高压静电发生器禁止超高压使用，否则会产生故障，甚至造成工伤事故。

2）喷涂操作时，先接通电源。接通高压前，应检查手提式高压静电喷枪的绝缘部件是否可靠，无故障时，再接通高压。

3）喷涂操作，使用的高压为 50～80kV。喷枪头极针不可与被涂工件表面接触，喷枪距工件一般为 200～300mm，以免打火（即使有安全电路也不要触碰），更不能将喷枪任意指向他人。喷涂结束后，喷枪应对地放电。压力供料罐内应有足够的涂料储量，涂料压力应适宜。工作气压大小，可根据被涂工件形状、涂料粘度等，在 0.008～0.10MPa 范围内进行调整。悬挂链、传送带、轨道小车等都不得超载运行。挂件要牢靠。

4）静电喷涂必须在专门的静电喷涂室内进行操作。静电喷涂室应为封闭式或半封闭式，室内必须设置良好的通风装置。静电喷涂室内或操作区域内的飞散雾化涂料和有机溶剂在空气中的含量都不准超过国家规定的允许数值。

5）静电喷涂室按国家环保规定为 l.2 级爆炸危险场所。室外距门水平和垂直距离的 3m 内空间也属于上述等级的爆炸危险场所，应妥善采取防火防爆措施。

6）静电喷涂室内和所在厂房内设置的所有电器设备，都必须严格采取防爆措施。

7）静电喷涂室内的通风装置应在喷涂操作前 5min 打开，喷涂操作完毕后 10min 关闭，不准在接通高压后打开或高压未关掉后关闭。操作过程中，通风装置出现故障，应关掉电源后再检修。

8）高压静电发生器应设专用电源插座，插座中的接地一端要与专用地线连接。

9）高频高压静电发生器应具有稳流稳压和恒场强电路。如果使用过程中发生故障或过载，设备应能自动跳闸切断高压，以避免造成火灾或电击事故。

10）静电喷涂使用的所有电气设备（包括附近放置的钢铁物），管道、电气管线、工件等都应接地。接地要符合 GB 3836—2000《爆炸性环境用防爆电气设备》中“接地”的规定。

11）静电喷涂操作现场，特别是静电喷涂室内积聚的含有有机溶剂的散落涂料，应及时清理干净。

12）高压静电喷涂室应远离火源和高温热源。需要焊接维修设备时，应停止静电喷涂后再进行。操作前，必须在操作现场备好足够的消防灭火器材。

13）静电喷涂生产线、输送链应保持良好接地。

### 4.10.9　手提式静电喷涂设备的常见故障及其排除方法有哪些?

手提式静电喷涂设备工具的日常维护保养和一般故障的排除方法如下：

1）严格执行设备工具的维护保养规定，定期进行检修。

2）带有变压油箱结构组件的高压发生器，使用一定时间后要及时更换变压器油。

3）要重点维护保养高压静电喷枪，使用后及时清洗干净，保证高压电缆线和喷枪连接部位的绝缘性能良好。

4）高压电缆不可置于地面，应随喷枪挂在离地面 1m 以上高处。

5）定期检修悬挂链及传动机构、通风装置、传送带等设备。挂具上粘有涂料，应及时清除，以保持良好的导电性能。输送线、挂具不得超载运行，以防止损坏或造成工

伤事故。

6）压力供料罐或输料管出现供料不均匀性故障，一般是堵塞引起，可采用加大气压瞬间通透即可解决。

### 4.10.10　常用旋杯式静电喷涂设备是什么？

旋杯式静电喷涂设备如图4-44所示。

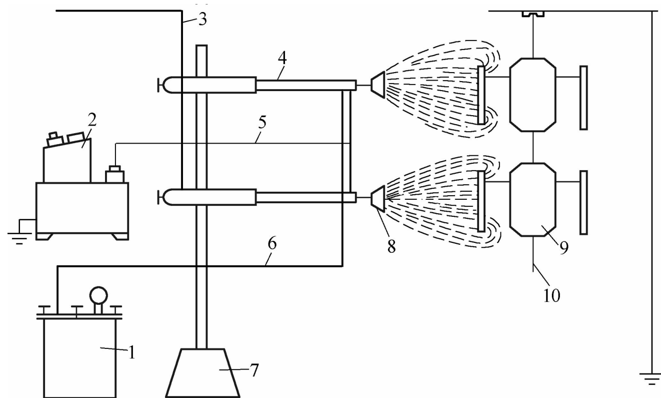



图4-44　旋杯式静电喷涂设备

1—压力供料罐　2—高压静电发生器　3—压缩空气管　4—旋杯枪杆　5—高压电缆
6—输料管　7—枪架机构　8—旋杯枪　9—被涂件　10—旋转挂具

### 4.10.11　如何操作旋杯式静电喷涂设备？

1）根据喷涂工艺规程，调整喷枪及其他设备的工艺参数，然后进行试喷，待一切正常后再批量投产。

2）喷涂选用的工作电压一般不低于30～40kV。工作电压的选择，主要是根据被涂件的形状、大小、批量、涂料类型等考虑的。喷涂操作过程中，不能长时间的使用高压静电发生器的最高输出电压，以防损坏设备。

3）喷涂旋杯应根据被涂工件的形状、大小、涂层质量要求等因素选用。对于宽度为500mm左右的被涂工件，旋杯口径应选择50～70mm。对于1m左右宽度的被涂工件，旋杯口径应选择150mm。要求涂层质量较高的被涂工件，旋杯口径应选用75～150mm。

4）喷枪与被涂件之间的距离一般为200～350mm（视被涂工件形状、大小等而定）。旋杯转数为3000～4000r/min。如需设置多枪喷涂，两枪距离应不少于1m。如果两枪距离地面高度不在同一水平面上，则枪间距离要大于1.2m以上。否则会产生同性相斥、中空漏涂（即圆形中空）、涂料飞溅等许多涂装操作事故和涂层质量弊病。

5）喷涂室内的设备、金属室体及其他金属物品等，均应保持良好接地。

6）悬挂输送链、猫头吊挂具应正常使用，不得超载或带故障运行。

7）干燥温度与时间要严格执行工艺规定。连续涂装生产的输送链的输送速度，应与烘干炉有效烘干段的通过时间匹配，满足涂层的实际干燥质量要求。

### 4.10.12　旋杯式静电喷涂设备的常见故障及其排除方法有哪些？

1）定期检查高压静电发生器的各组件是否有损坏，发现故障后及时修理。

2）随时注意检查静电喷涂设备工具的接地和绝缘情况，保证各设备工具在工艺规程允许的工艺条件下工作。设有喷涂工作室、观察室的静电涂装车间，要妥善安装有供维修人员做检查、检修及操作者调整设备出入的推拉式门。室体同静电喷涂区应隔开一段距离。设置采取人工照明时，必须要有防爆措施。

3）随时注意压力供料装置的供料是否正常，否则应调整。定期清理供料装置和输送料管，防止工作时出现堵塞。

4）维护保养好通风装置，定期检查并清除粘附的涂料。挂具使用后，应及时清除涂层，以保持良好的导电性能。

5）不可随意移动或乱用灭火防爆器材，随时保持处于工作状态，过期的应更换。

6）旋杯喷涂操作时，发现过多的涂料被甩向被涂工件以外的故障时，应更换口径稍小的旋杯，即可排除。也可以调整旋杯枪架高度来解决该故障。

## 4.11　电泳涂装

### 4.11.1　什么是电泳涂装？

电泳涂装是将具有导电性的被涂工件浸渍在装满用水稀释的、浓度比较低的电泳涂料槽中作为阳极（或阴极），在槽中另设置与其相对应的阴极（或阳极），并在两极间通入直流电，即可在被涂工件表面上析出均一涂膜的涂装方法。

电泳涂装是一种特殊的涂膜形成方法，仅适用于电泳涂装专用的水性涂料（简称电泳涂料）。电泳涂装是汽车涂装近二三十年来最普及的涂底漆涂装方法之一。

根据被涂工件的极性和电泳涂料的种类，电泳涂装可分为阳极电泳（被涂工件是阳极，涂料是阴离子型）和阴极电泳（被涂工件是阴极，涂料是阳离子型）两种涂装法。

### 4.11.2　电泳涂装的主要特点及适用范围是什么？

1. 主要特点

电泳涂装的主要特点：①优点是：电泳涂装法的涂料利用率高，涂膜均匀，外观好，泳透力好，生产效率高，适用于流水线涂装作业，涂膜的附着力好，涂膜质量高，耐蚀性好，且环境污染小；②缺点是：该种方法的设备复杂，投资费用高，涂装管理复杂，生产中不能进行调色和换色。

2. 适用范围

电泳涂装法适用于大批量流水生产防腐性能要求高的工件涂装，如汽车、机械产品、化工设备、飞机、船舶、电动机等。

### 4.11.3　阳极电泳涂装和阴极电泳涂装的区别有哪些？

阳极电泳涂装和阴极电泳涂装的区别见表 4-21。

**表 4-21　阳极电泳涂装和阴极电泳涂装的区别**

| 方　　法 | 阳极电泳涂装 | 阴极电泳涂装 |
|---|---|---|
| 被涂物电极 | 阳极 | 阴极 |
| 主体树脂的官能团 | 含有羧基—COOH | 含有氨基—$NH_2$ |

（续）

| 方　　法 | 阳极电泳涂装 | 阴极电泳涂装 |
|---|---|---|
| 在水溶液中带电性 | 带负电荷 | 带正电荷 |
| 中和剂 | 三乙基胺，三乙醇胺 | 乳酸，醋酸 |
| 涂膜性质 | 呈酸性膜 | 呈碱性膜 |
| 电极溶解性 | 对被涂物金属有溶解作用 | 无溶解作用 |
| pH 值 | 7.5～8.5 | 3.0～5.0 |
| 运用范围 | 较窄 | 较广 |
| 发展历史 | 始于20世纪70年代 | 始于20世纪80年代 |

### 4.11.4　电泳涂装主要设备有哪些？

电泳涂装设备由电泳槽、备用槽、循环过滤系统、超滤系统、极液循环系统、换热系统、直流电源、涂料补加装置、冲洗系统及控制柜等组成，其结构如图4-45所示。

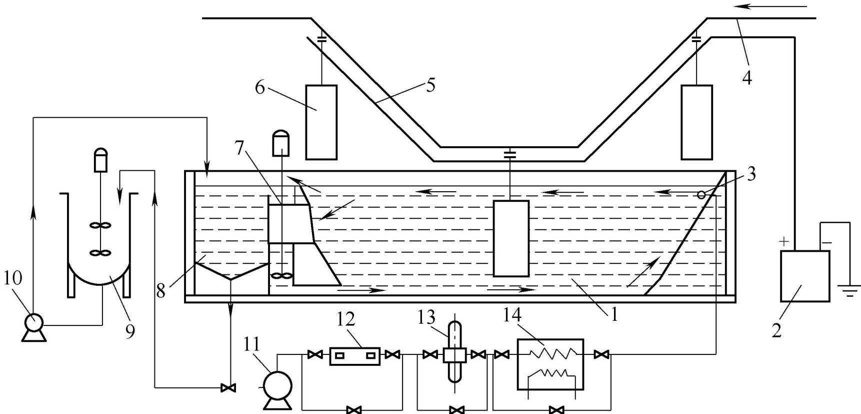



图4-45　电泳涂装设备的结构

1—主槽　2—直流电源　3—喷嘴　4—输送链　5—供电机构　6—工件
7—搅拌器　8—溢流槽　9—涂料补充槽　10—泵　11—循环泵
12—磁性过滤器　13—过滤器　14—换热器

### 4.11.5　什么是循环搅拌系统？

循环搅拌系统的作用是保证整个电泳槽内溶液液组成均匀和具有良好的分散稳定性，防止漆料沉淀，另外用于过滤杂质、换热及排除工件界面因电解产生的气泡。

通常采取过滤循环、过滤换热循环和超滤循环的配合，实现以上诸功能。电泳循环搅拌机过滤系统原理如图4-46所示。

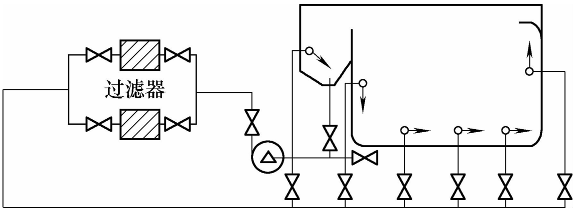



图4-46　电泳循环搅拌机过滤系统原理

在实际操作时，应使得槽底和循环管流速在 0.4m/s 以上；液面流速在 0.2m/s 以上。同时保持槽液循环次数为 4 ~ 6 次/h。

### 4.11.6　电泳涂装方法的电极种类有哪些？

根据电极使用条件的不同，可分为极板、隔膜及辅助电极三种。

1）极板电极一般以数块连续设置在主槽两侧，其数量以极板面积与工件面积之比来决定，阳极是泳极板面积: 工件面积 = (0.5 ~ 2) : 1，阴板电泳极板面积: 工件面积 = 1 : (4 ~ 6)。

材料根据电泳涂料的种类有不同的选择，阳极电泳极板可采用普通钢板或不锈钢板制作，而阴极电泳极板可采用不锈钢、石墨板或钛合金板制作。

2）隔膜电极的作用是调节电泳漆液的 pH 值，同时具有极板电极的效果。

3）辅助电极一般用于特殊结构的工件。

### 4.11.7　什么是电泳槽？

电泳槽有两种形式，对于连续通过式采用船性槽，间歇步进式采用矩形槽。

电泳槽的尺寸应根据工件大小来确定，一些电泳槽的参考尺寸如图 4-47 和表 4-22 所示。同时应配套溢流槽，用于控制主槽液面高度并排除液面泡沫。

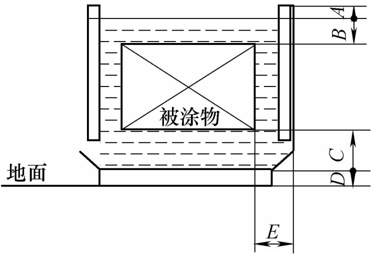


图 4-47　电泳槽的参考尺寸

表 4-22　典型电泳槽的尺寸　（单位：mm）

| 项　目 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 汽车车身 | 200 ~ 250 | 250 ~ 300 | 450 ~ 500 | 250 ~ 300 | 500 ~ 550 |
| 建材 | 150 ~ 200 | 200 ~ 250 | 400 ~ 450 | 250 ~ 300 | 450 ~ 500 |
| 家用电器 | 125 ~ 150 | 150 ~ 200 | 400 ~ 450 | 200 ~ 250 | 350 ~ 400 |
| 零部件 | 125 ~ 150 | 125 ~ 150 | 375 ~ 400 | 150 ~ 200 | 300 ~ 350 |

### 4.11.8　涂料补给装置是什么？

涂料补给装置由补漆槽、过滤器、电动搅拌器及输液泵等组成，通过管道、阀门等方式与电泳槽相连接。

其工作模式是在加料时，先将电泳槽内的电泳漆液（约占补充涂料量的 50%）泵入补漆槽内，再将高浓度的电泳原漆输入补漆槽内，开动搅拌器，连续搅拌 20 ~ 30min 使其充分预稀释后，通过过滤器用泵徐徐输入电泳槽内。

### 4.11.9　什么是冲洗系统？

电泳涂装前的水洗设备如图 4-48 所示。

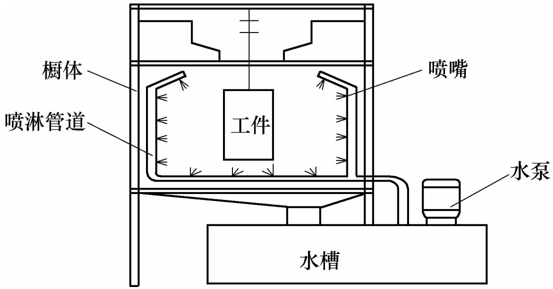


图 4-48　水洗设备

电泳涂装后的水洗装置有喷射

式和浸渍式两种。喷射式多级循环清洗系统如图4-49所示。

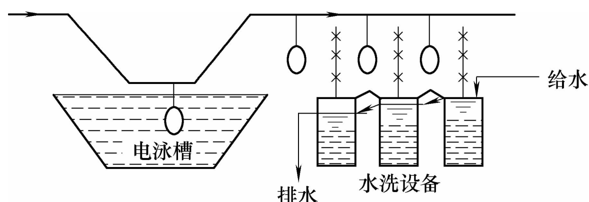



图4-49　喷射式多级循环清洗系统

实际使用时，喷射的压力一般不大于0.1MPa/cm$^2$，喷嘴可采用莲蓬头型或螺旋形喷嘴。且应保持喷嘴与工件之间的距离为250～300mm，喷嘴之间的距离为200～250mm。

### 4.11.10　什么是超滤系统？

电泳超滤系统是维护电泳槽液稳定、提高涂装质量、降低环境污染的极为重要的环节。

超滤装置主要由预滤器、超滤器、循环泵及超滤液贮存输送装置等组成。

1）预滤器的作用是预先将电泳漆液中的机械杂质清除，以防止机械粒子进入超滤器，划伤半透膜。图4-50所示为常见的圆筒预滤器的结构。

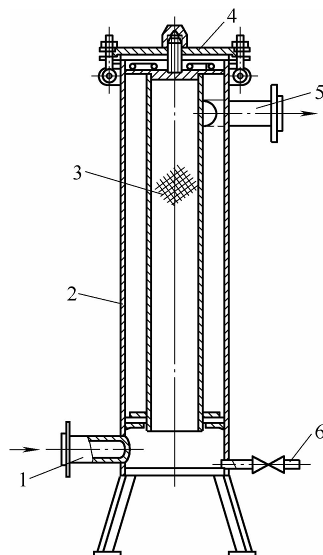



图4-50　常见的圆筒预滤器的结构
1—漆液入口　2—筒体　3—过滤网
4—顶盖　5—漆液出口
6—滤渣排放口

2）超滤器是整个超滤系统关键部件。根据半透膜载体的形式，超滤器可分为板式、管式及中空纤维式超滤器多种形式，图4-51所示是常用的管式超滤器的结构。各种超滤器的特性见表4-23。

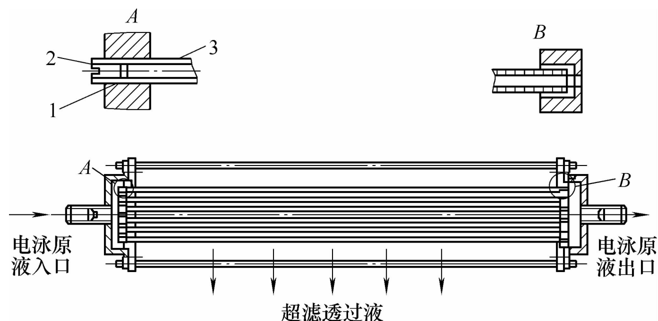



图4-51　常用的管式超滤器的结构
1—O形密封圈　2—堵头　3—超滤管

表 4-23　各种超滤器的特性

| 超滤器类型 | 过滤要求 | 超滤膜耐沾污性 | 清洗再生性能 | 膜强度 | 紧凑性 | 动力耗量 | 运行成本 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 管状 | 最低 | 最优 | 最好 | 最高 | 最差 | 最大 | 最大 |
| 板状 | 较高 | 最差 | 差 | 低 | 好 | 大 | 大 |
| 卷式 | 高 | 差 | 最差 | 较高 | 好 | 较小 | 最小 |
| 中空状 | 最高 | 较优 | 较好 | 最低 | 好 | 最小 | 小 |

### 4.11.11　电泳涂装的工作流程是什么?

电泳涂装的工作流程如图 4-52 所示。

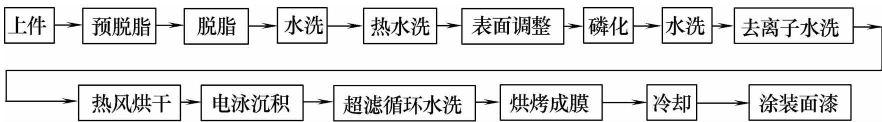



图 4-52　电泳涂装的工作流程

### 4.11.12　电泳涂装过程中产生的涂膜缺陷及防止方法有哪些?

电泳涂装过程中产生的涂膜常见缺陷及其防止方法见表 4-24。

表 4-24　电泳涂装过程中产生的涂膜常见缺陷及其防止方法

| 涂膜病态 | 产 生 原 因 | 防 止 方 法 |
|---|---|---|
| 涂膜粗糙 | 1. 颜基比过高<br>2. 槽液杂质离子过多，电导率过高<br>3. 槽液中助溶剂含量偏低<br>4. 槽液中混有机械杂质 | 1. 补充低颜基比涂料<br>2. 更换超滤液<br>3. 添加助溶剂<br>4. 过滤去除杂质 |
| 针孔 | 1. 电泳电压过高，电解反应过剧、产生气泡过多<br>2. 助溶剂含量偏低<br>3. 槽液杂质离子过高<br>4. 槽液温度偏低 | 1. 适当降低电压<br>2. 添加助溶剂<br>3. 超滤除去杂质离子<br>4. 控制槽液温度 |
| 花斑 | 1. 工件表面预处理不好，磷化膜不均匀<br>2. 槽液附着表面，未及时洗净<br>3. 槽液杂质离子过高 | 1. 提高表面预处理质量<br>2. 电泳后工件刚出槽尽快进行水洗<br>3. 超滤除去杂质离子 |
| 阴阳面 | 1. 槽液颜基比不合适，搅拌不均匀<br>2. 工件在电泳槽中的位置不当<br>3. 工件形状复杂，局部产生电场屏蔽 | 1. 调整颜基比，控制搅拌速度<br>2. 工件应保持在电场中心线与槽两边电极平行且距离相等<br>3. 根据工件形状，适当布置辅助电极 |

（续）

| 涂膜病态 | 产生原因 | 防止方法 |
|---|---|---|
| 缩孔 | 1. 颜基比太低，颜料过少<br>2. 表面预处理脱脂不彻底<br>3. 外来油污污染电泳涂膜 | 1. 补充高颜基比涂料<br>2. 严格预处理工艺，尤其注意彻底脱脂<br>3. 检查输送机构，挂具防止油滴污染涂膜 |
| 失光 | 1. 槽液 pH 值失调<br>2. 槽液中杂质离子过多<br>3. 槽液温度太低、涂膜过薄<br>4. 磷化膜粗糙 | 1. 调整 pH 值<br>2. 超滤除去杂质离子<br>3. 适当提高槽液温度，增加沉积量<br>4. 提高磷化质量，尽量采用细晶薄膜磷化工艺 |
| 水痕 | 1. 预处理水洗不彻底<br>2. 电泳沉积后，预烘干时间太短<br>3. 涂膜冲洗后水滴从挂具上滴落到涂膜上<br>4. 涂膜表面张力过大 | 1. 严格控制水洗质量<br>2. 加强预烘干过程<br>3. 用导流板防止滴水，用压缩空气或鼓风吹干水滴<br>4. 改善电泳漆涂膜表面张力 |
| 桔皮 | 1. 槽液颜基比过小<br>2. 助溶剂含量过低<br>3. 电泳电压过高，涂膜过厚<br>4. 槽液中低相对分子质量树脂增多<br>5. 预处理水洗不净、磷化膜粗糙 | 1. 补充颜基比较高的电泳漆<br>2. 适当补充助溶剂<br>3. 适当降低电泳电压<br>4. 严格控制补充电泳漆质量<br>5. 提高表面预处理质量 |
| 涂膜过薄 | 1. 助溶剂含量偏低<br>2. 颜基比偏高<br>3. pH 值不当<br>4. 槽液温度偏低 | 1. 补充助溶剂<br>2. 补加低颜基比涂料<br>3. 调整 pH 值<br>4. 适当提高槽液温度 |
| 涂膜过厚 | 1. 槽液中助溶剂含量偏高<br>2. 颜基比偏低<br>3. pH 值不当<br>4. 槽液温度偏高 | 1. 废弃超滤液<br>2. 补加高颜基比涂料<br>3. 调整 pH 值<br>4. 冷却降低槽液温度 |
| 工件内表面涂膜过薄（泳透力下降） | 1. 颜基比偏低<br>2. 槽液中助溶剂含量偏高<br>3. 槽液杂质离子含量过多<br>4. 电泳电压偏低<br>5. 槽液搅拌不良 | 1. 补充高颜基比涂料<br>2. 废弃超滤液<br>3. 废弃超滤液<br>4. 适当提高电压<br>5. 加强搅拌，疏通管道和喷嘴 |

### 4.11.13　电泳涂装铝合金型材时的缺陷分析及改进方法有哪些？

电泳涂装铝合金型材时的缺陷分析及改进方法见表4-25。

**表 4-25　电泳涂装铝合金型材时的缺陷分析及改进方法**

| 缺陷名称 | 现　　象 | 原　　因 | 对　　策 |
|---|---|---|---|
| 起泡 | 在漆膜表面留有泡迹的外观 | 将铝材浸入电泳槽时，由于漆液表面的泡卷入或空气卷入<br>由于循环系统有空气卷入，阳极屏蔽不良，在漆液中存在微小气泡<br>漆膜的热流动性差的场合 | 铝材进槽注意倾斜，绑料注意方向和倾斜<br>检查循环系统和阳极屏蔽，防止泡在槽内滞留 |
| 电泳无漆膜 | 表面无漆膜 | 导电系统有问题<br>阳极氧化膜被完全封闭 | 检查电泳电源是否有问题<br>检查整个导电回路是否导电不良<br>导电杆是否打磨不干净、绑料是否绑紧<br>检查阳极氧化后的水洗及热纯水洗的时间与温度 |
| 异常电解 | 气体残留在漆膜内部，表面粗糙不平 | 通电条件和液体组成的异常，电流部分集中或流过异常电流，伴随着气泡形成厚薄不均的漆膜，特别是高电压漆膜厚的条件下易发生 | 改善通电条件<br>调节液体组成（如亚硝酸盐等） |
| 漆膜变黄 | 漆膜发黄 | 漆膜太厚<br>烘烤温度高或时间长<br>槽内涂料被污染（特别是硫酸根离子污染）<br>氧化后在水洗槽中浸泡时间太长 | 改善涂漆条件<br>改善烘烤条件，选择合适的温度进行离子交换处理<br>在水洗槽中浸泡时间不宜太长 |
| 胶着 | 漆液的胶化物附在漆膜表面 | 电泳及电泳后的水洗槽混入了酸漆液的部分树脂凝聚，附在铝材上 | 检查过滤系统，必要时更换滤芯<br>去除漆液中的凝聚物，同时检查凝聚原因 |
| 表面粗糙 | 漆膜表面有细微的凹凸不平 | 胺浓度高于工艺控制值<br>槽内涂料有污染<br>槽内涂料固体含量过低<br>槽内涂料极端老化<br>电泳工序或烘烤工序中的尘土附在漆膜上 | 进行阴离子交换处理<br>根据电导率的测定结果，进行离子交换处理<br>补给电泳涂料原液使其固体含量至工艺控制值的上限<br>进行阴离子交换处理，补足溶剂无改善时，则更换一部分或全部涂料<br>检查尘土来源并去除 |
| 酸迹 | 漆膜表面有胶化流动的状况 | 在氧化工序，夹具附着了酸，水洗不干净 | 水洗必须充分<br>改进夹具的构造 |

（续）

| 缺陷名称 | 现　　象 | 原　　因 | 对　　策 |
|---|---|---|---|
| 针孔或缩孔 | 涂膜出现针孔或缩孔 | 漆液中出现小气泡<br>槽内涂料有污染<br>被涂装物有污染<br>被涂装物的绑料角度或吊装角度不足<br>被涂装物下垂量过大<br>电泳主槽液面流量不足而导致气泡残留在液面上<br>阴极罩不良 | 检查电泳槽的回流口、液面线、副槽的回流落差、过滤循环泵及其管道有否吸气、冲溅等<br>暂停循环过滤待气泡浮上表面而除去<br>检查天车上是否有油、或油脂类东西落下混入<br>检查周围环境是否有油烟气进入<br>将溶剂量及胺浓度调整至工艺控制值的上限<br>进行离子交换处理<br>进行硅藻土过滤<br>强化电解后各水洗工序的水洗和改良其水质<br>调整被涂装物的绑料角度成吊装角度至5°以上<br>对于被涂装物下垂过大，中间应加杆固定并保证倾角<br>加大循环泵的流量 |
| 漆斑及漆流痕 | 漆膜表面有漆斑或漆流痕 | 电泳起槽后停留时间过长<br>电泳后水洗不足<br>RO2 槽的固体含量过高<br>电泳水洗后沥液角度及滴干时间掌握得不好<br>被涂装物下垂量过大<br>导电梁上有酸碱水滴下 | 电泳起槽后的停留时间在1min以内<br>加长电泳后的水洗时间<br>调增大 RO1、RO2 水洗槽的循环量<br>开动 RO2 的回收，降低固体含量<br>起槽沥液的角度大于20°<br>滴干时间应在5min以上<br>中间加垂直杆固定 |
| 低光泽 | 涂膜光泽不够高 | 涂膜厚度不够<br>涂膜有再溶解的情况<br>电泳涂装水洗不良<br>ED 或 RO1 的 pH 偏高<br>槽内涂料被污染<br>烘烤干燥不足<br>碱蚀过度 | 检查电泳涂装电压是否在工艺控制值内<br>电泳涂装后被涂装物是否长时间地放在电泳槽液中或水洗液中<br>检查电泳涂装起槽后沥液时间是否过长<br>检查泳后的水洗时间是否适当<br>RO2 槽的固体含量是否有异常<br>根据电导率的测定结果，进行离子交换处理<br>检查烘烤干燥的时间与温度是否适当 |

（续）

| 缺陷名称 | 现　　象 | 原　　因 | 对　　策 |
|---|---|---|---|
| 乳白 | 漆膜有乳白色 | 热纯水浸洗不充分<br>氧化后水洗条件不好<br>槽内涂料被污染（特别是硫酸根离子污染） | 确认热纯水浸洗的温度、时间是否合适<br>缩短阳极氧化后的第一道水洗的时间<br>在 pH <2 的水洗槽中放置时间不得超过 1.5min<br>强化水洗水的更换<br>根据电导率的测定结果，进行离子交换处理 |
| 雾 | 白雾 | 前处理工序的酸、碱雾附在电泳后至烘烤干燥间的涂膜上 | 对酸碱雾发生的酸蚀、碱蚀工序加强排气抽风<br>改变车间内的气流方向（如采用排气扇、遮挡等）<br>电泳工序不得吹进酸碱雾 |
| 漆膜薄 | 所上涂膜较薄 | 涂装电压过低，时间偏短<br>电泳槽液温度过低<br>电泳槽液固体分过低<br>电泳槽内乙二醇单丁醚 BC 不足<br>电泳槽液 pH 太高或电泳槽液被污染<br>电泳槽液极端老化 | 各涂装电压分阶段调高<br>将漆液温度调高到 22～25℃<br>提高槽液固体含量，补充 BC<br>开启离子交换，如果没有好转，要考虑漆液的部分或全部更换 |
| 漆膜厚 | 所上涂膜过厚 | 涂装电压过高，时间太长<br>电泳槽液温度过高<br>电泳槽液固体含量过高<br>电泳槽内 BC 过多 | 将涂装电压分阶段调低<br>减少通电时间<br>将漆液温度调低到 19～22℃<br>停止 BC 的补充<br>降低电泳槽液固体含量 |
| 漆膜不均匀 | 所上涂膜厚薄不均 | 涂装电压不适应<br>电泳槽液温度过高<br>电泳槽内溶剂过多<br>型材绑料间隙或吊装间隔过窄<br>极比不适当<br>极间距部分过小<br>电流密度局部过大<br>槽内涂料性能变化过大<br>电泳槽液循环速度太小或不均匀 | 根据铝材的形状、绑料面积设定电压<br>调整槽液温度至 20～22℃<br>根据溶剂分析结果进行调整（使用 RO 透过液排出）<br>调整绑料间隔或吊装间隔在 3cm 以上<br>调整挂料面积，使极比为 1∶1 至 5∶1<br>将一部分电极用塑料板遮盖屏蔽<br>减少漆液固体分的剧烈波动<br>增加离子交换频度<br>加大电泳槽液循环速度、变换循环液体的出口角度 |

（续）

| 缺陷名称 | 现　　象 | 原　　因 | 对　　策 |
|---|---|---|---|
| 滴形水迹 | 点状或滴水状 | 从电泳架、夹具等落下的水滴，附着在半干的漆膜表面被烤干，附着部位的光泽发生变化，以及水滴中的不纯物成分而产生 | 延长除水分时间<br>对夹具进行改造 |
| 皮膜裂纹 | 阳极氧化膜的裂纹，通常是与挤压方向相垂直的白色微条纹 | 膜厚高（大于15μm）<br>热水洗温度高<br>热水洗时间长<br>热水水质不良<br>烘烤温度高 | 按标准控制氧化膜的厚度<br>选择适当的热水洗条件（温度、时间、水质）<br>适当的烘烤温度 |
| 条纹 | 竖吊系统中沿纵向可见的凸状筋 | 电泳起槽后，因漆液从两边干燥，而中间部位漆胶着而产生 | 除去漆液中的不纯物<br>调整溶剂浓度和胺浓度 |
| 涂料迹 | 竖吊系统中可见的凸状迹 | 漆膜上附着漆液，不均匀地滴落而形成凸状迹 | 降低固体分浓度，提高溶剂浓度<br>提高 pH 值<br>延长电泳后水洗阶段的时间<br>提高水洗槽水位，使铝材上部无法残留漆液 |
| 接触 | 竖吊系统中铝材相互接触 | 型材吊挂间隙小<br>夹具不够垂直<br>烘烤炉内风压太大 | 应有合适的间隔<br>降低或分散炉内风力 |
| 颗粒状异物 | 漆膜下有颗粒状异物 | 涂料中有脏物，RO1、RO2 水洗液脏<br>型材电泳前未洗净<br>ED 槽 pH 值低<br>烘烤炉内有脏物 | 过滤涂料；过滤水洗液<br>电泳前应 3 道水洗，其中一道热水<br>加氨水，使 pH＝7.6～8.0<br>炉内循环风应干净<br>滴干区应建塑料棚，罩住型材 |
| 漆膜起皱纹 | 桔皮 | 涂料严重老化<br>pH 值太高<br>槽液被污染<br>固体含量太低 | 槽液进行离子交换<br>取样化验，调整槽液成分<br>调整固体含量至7.5%～8.5% |
| 粗糙失光 | 漆膜粗糙、光泽不好 | 氧化槽 $Al^{3+}$ 含量太高<br>氧化槽温偏高<br>ED 槽 pH 偏高<br>碱蚀液中 Zn 含量高<br>中和槽酸太低 | 降低 $Al^{3+}$ 含量<br>控制槽温在19～23℃<br>降低 pH 值<br>控制 NaOH 品质<br>正确执行工艺<br>提高酸浓度 |

（续）

| 缺陷名称 | 现　　象 | 原　　因 | 对　　策 |
|---|---|---|---|
| 灰尘附着 | 漆膜表面灰尘附着 | ED 槽前 3 个水槽的水太脏<br>ED 槽中有脏物<br>滴干区上方落下尘灰<br>烘烤炉内有灰尘 | 更换纯水或过滤纯水<br>过滤 ED 槽液<br>滴干上方加罩或检查罩有无破损<br>清除炉内灰尘 |

## 4.12　自泳涂装

### 4.12.1　什么是自泳涂装？

自泳涂装，又称自沉积涂装。自泳涂装的原理是在被涂金属与乳液界面区域创造一定的条件使得界面乳液脱稳，从而使乳胶粒和颜料沉积于金属表面。

自泳涂装的沉积过程有酸蚀、氧化、破乳和自沉积四个过程。

### 4.12.2　自泳涂装有何特点？

与电泳涂装相比，自泳涂装的特点如下：

1）节能。

2）高防护性能。

3）工艺过程短。

4）自泳涂装生产效率高。

5）无泳透力问题。

6）挂具不需要清理。

7）涂料溶液不含任何有机溶剂。

8）采用水溶性的表面活性剂，解决了乳胶涂料耐水性差得问题。

由于自泳涂料仍是一种水性涂料，在使用过程中金属离子在槽液中持续积累，使其同样存在槽液稳定性的问题。

### 4.12.3　自泳涂装的工艺流程是什么？

典型自泳涂装的工作流程如图 4-53 所示。

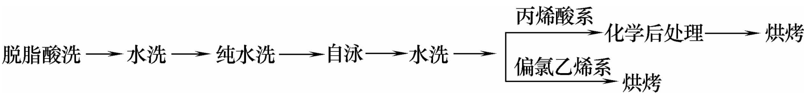



图 4-53　典型自泳涂装的工作流程

### 4.12.4　自泳涂装过程中产生的缺陷及其防止方法有哪些？

自泳涂装过程中产生的涂膜常见缺陷及其防止方法见表 4-26。

表 4-26　自泳涂装过程中产生的涂膜常见缺陷及其防止方法

| 缺　　陷 | 原　　因 | 防 止 方 法 |
|---|---|---|
| 涂层上附有颗粒 | 自泳槽液内有颗粒<br>水洗槽有浮渣<br>自泳槽液稳定性差<br>自泳活性低<br>新配槽液 | 定时用尼龙网捞出杂物<br>或循环过滤<br>更换部分槽液<br>添加活性剂<br>放置一段时间后施工 |
| 工件局部无涂膜 | 脱脂不净<br>预处理时间过长<br>槽液活性低<br>槽液固体含量过低 | 加强预处理，必要时增加预脱脂工序<br>缩短预处理时间<br>添加活性剂<br>补充自泳涂料 |
| 涂层附着力差 | 脱脂除锈不净<br>进烘道前停滞时间太长<br>工件挂灰发黑<br>化学后处理不当 | 加强预处理工序<br>出槽后应尽快进烘道<br>控制酸洗时间<br>补充后处理剂，调整 pH 值 |
| 湿膜附着力差 | 槽液固体含量低 | 补加自泳涂料 |
| 部分湿膜被冲掉 | 槽液 pH 值过高<br>工件脱脂不净<br>槽液铁含量过高 | 补充氢氟酸<br>加强预处理工序<br>补加蒸馏水和自泳涂料 |
| 涂层外观差 | 自泳、水洗或后处理槽内有渣<br>槽液 pH 值过低<br>槽液铁含量过低<br>自泳时间过长<br>氧化还原电位过低 | 循环过滤或用尼龙网捞去浮渣<br>调整 pH 值<br>补充含铁活性剂<br>减少自泳时间<br>控制过氧化氢加入量 |
| 咬底 | 烘烤温度低或过烘烤<br>涂层附着力差 | 控制烘烤工序 |

## 4.13　粉末涂装

### 4.13.1　什么是粉末涂装?

粉末涂装是以固体树脂粉末为成膜物质的一种涂覆工艺，它的涂装对象是粉末涂料。粉末涂装技术的发展堪称为涂饰工业近代伟大成就之一。近十五年来，全世界的粉末涂装工业以每年两位数的增长率稳定地飞速发展。对粉末涂装技术的需求日益增长的原因在于：粉末涂层具有优异的性能、易于施涂、节约能源，其广泛用于汽车和家用电器行业，在经济效益和环境保护方面的社会效益显著。

### 4.13.2　粉末涂装有何特点?

粉末涂装方法的主要优点如下：①粉末涂装一次便可得到厚度为 100 ~ 300μm 的涂

层，而采用普通涂料需 4 ~ 8 次的施工，提高施工效率，缩短生产周期；②涂料中不含溶剂，无需稀释和调整粘度，改善了劳动条件并减少了火灾的危险，有利于保护环境；③提高了涂层的附着力和致密性，金属粉末、陶瓷粉末等一起混合涂装，更能提高涂层的各项物理、力学性能，涂膜的耐蚀性极大地提高；④机械化程度高，并可回收利用过量的涂料，降低了涂料的消耗；⑤涂装设备复杂，投资成本高，涂层的外观和流平性不及喷涂方法好，某些粉末涂装方法对工件的形状尺寸有要求。只能对粉末涂料适用，成本较高。

粉末涂装的缺点是对具有复杂形状产品的尖棱角部位、凹陷处涂装涂覆效果不好，涂膜质量较差。

粉末涂装法适用于各种形状的对涂装表面保护、装饰性能要求较高的中小型产品的大批量流水生产，如仪器仪表、钟表、机械、轻工、电器、车辆、航空等。

### 4.13.3　粉末涂装的施工方法有哪些？

已获得工业应用的粉末涂料的施工方法有：火焰喷涂法（融射法）、流化床法、静电粉末喷涂法、静电流化床法、静电粉末振荡法、粉末电泳涂装法等，其特性和原理见表 4-27。

**表 4-27　粉末涂装的特性和原理**

| 序号 | 涂装方法 | 粉末输送方式 | 粉末附着方式 | 涂装过程和原理 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 火焰喷涂法 | 压缩空气 | 熔融附着 | 涂料粉末通过火焰喷嘴的高温区熔融或半熔融喷射到预热基底表面 |
| 2 | 流化床法 | 空气吹动 | 工件预热 | 压缩空气通过透气板使粉槽内的涂料粉末处于流化状态，将预热的工件浸入，使涂料附着 |
| 3 | 静电粉末喷涂法 | 压缩空气 | 静电引力 | 利用电晕放电原理使雾化的粉末涂料在高压电场的作用下荷负电并吸附于荷正电的基底表面 |
| 4 | 静电流化床法 | 空气吹动 | 静电引力 | 用气流使粉末涂料呈流化状态并带负电，放入带正电的工件，涂料被吸引吸附，再加热熔融固化 |
| 5 | 静电粉末振荡法 | 机械、静电振荡 | 静电引力 | 高压静电场作用下靠阴极电栅的弹性振荡使粉末粒子充分带电和克服惯性，沿电场引力吸附到被涂物表面 |
| 6 | 粉末电泳涂装法 | 液体化 | 电泳 | 将粉末涂料分散到加有表面活性剂的液体介质中，用电泳的方法涂覆 |

### 4.13.4　不同的粉末涂料的施工方法有何区别？

不同的粉末涂料的施工方法比较见表 4-28。

**表 4-28　不同粉末涂装方法比较**

| 涂装方法 | 适用涂料 | 粒度范围/μm | 被涂物性质 | 被涂物实例 | 生产规模 |
|---|---|---|---|---|---|
| 火焰喷涂法 | 聚乙烯、聚酰胺、氯化聚醚 | 100 ~ 200 | 除易燃物以外的材质，不能过大 | 槽、管 | 小批量生产 |

（续）

| 涂装方法 | 适用涂料 | 粒度范围/μm | 被涂物性质 | 被涂物实例 | 生产规模 |
|---|---|---|---|---|---|
| 流化床法 | 聚乙烯、聚酰胺、氯化聚醚、环氧树脂 | 50～300 | 小型、耐热、厚薄均一 | 电子部件、钢球 | 可实现自动化大批量生产 |
| 静电粉末喷涂法 | 聚乙烯、聚酰胺、氯化聚醚、环氧树脂、聚酯、聚氯乙烯、丙烯酸酯 | 150以下 | 材质导电，不能过大，避免形状复杂 | 汽车、家电、铁架 | 可实现自动化大批量生产 |
| 静电流化床法 | 聚乙烯、聚酰胺、环氧树脂等 | 150以下 | 小型、线状、带状，导电 | 线材、卷材 | 可实现自动化大批量生产 |
| 静电粉末振荡法 | 聚乙烯、聚酰胺、环氧树脂等 | 150以下 | 材质导电，不能过大，避免形状复杂 | 线材、卷材 | 可实现自动化大批量生产 |
| 粉末电泳涂装法 | 环氧树脂、丙烯酸酯 | 200以下 | 小型，可涂装形状复杂的工件 | 家电、电子部件 | 可实现自动化大批量生产 |

### 4.13.5 不同的粉末涂料施工方法的常见工艺及其特点有哪些？

不同的粉末涂料施工方法的常见工艺及特点见表4-29。

**表4-29 各种粉末施工方法的工艺及特点**

| 涂装方法 | 预热 | 后加热 | 膜厚控制 | 涂装效率 | 涂装速度 | 所需设备 | 优点 | 缺点 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 火焰喷涂法 | 不需要 | 一般不用，热固型多数需要加热 | 难以精确控制，膜厚100～500μm | 中等，未附着的喷雾不能再生 | 0.2～0.5m$^2$/min | 熔融喷射机、粉末箱、燃气瓶 | 可现场施工，设备较便宜 | 难以对复杂形状工件涂装，内壁无法施工 |
| 流化床法 | 必须预热 | 可无需后加热，但加热改善外观 | 薄膜控制困难，150～500μm | 良好 | 浸入时间5～20s | 预热炉、流动浸渍槽 | 一次涂装，适合小型工件自动化生产 | 必须预热，不适于薄板、大型和复杂工件 |
| 静电粉末喷涂法 | 不需要，厚涂层时可用 | 必须后加热 | 精度高，预热后可得厚涂层 | 良好，未附着的喷雾可回收 | 在60μm 1～3m$^2$/min | 静电粉末涂装机、高压静电发生器、烘干室 | 热容量大或小的均可涂装，适于大批量 | 烘干温度高，设备复杂 |
| 静电流化床法 | 不需要，厚涂层时可用 | 必须后加热 | 上下膜厚差别大40～200μm | 良好 | 通过时间2～10s | 静电流动浸渍槽、高压静电发生器、烘干室 | 适于线状、带状物体自动化连续生产 | 不适用大型工件，不易涂饰均匀 |

（续）

| 涂装方法 | 预热 | 后加热 | 膜厚控制 | 涂装效率 | 涂装速度 | 所需设备 | 优点 | 缺点 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 静电粉末振荡法 | 不需要，厚涂层时可用 | 必须后加热 | 40 ~ 100μm | 良好 | 通过时间 5 ~ 15s | 静电振荡涂装机、高压静电发生器、烘干室 | 涂覆效率高，无需回收装置 | 设备复杂，对材质要求高 |
| 粉末电泳涂装法 | 不需要 | 必须后加热 | 可精确控制 30 ~ 200μm | 较高 | 5 ~ 60s 成膜 | 电泳浸渍槽、传动装置、烘干室 | 涂覆效率高，适于水性粉末涂料 | 需液体化过程 |

### 4. 13. 6　粉末涂装过程中产生的缺陷及解决方法有哪些？

粉末涂装过程中产生的涂膜常见缺陷及其解决方法见表 4-30。

**表 4-30　粉末涂装过程中产生的涂膜常见缺陷及其解决方法**

| 涂膜缺陷 | 产 生 原 因 | 解 决 方 法 |
|---|---|---|
| 硬颗粒 | 挤出机中残留物<br>生产中带进杂质（环境、材料）<br>过筛时带进粗颗粒<br>预处理不干净<br>新设备清理不干净 | 控制好挤出机转速和冷却<br>换色时螺杆应清洗干净<br>生产现场及设备要干净<br>检查粉末中的杂质<br>过滤筛要经常检查是否完好<br>预处理要干净<br>生产厂和使用厂均要清理干净 |
| 缩孔 | 粉末生产过程中及存放时吸潮<br>工件预处理不干净<br>材料中的水分与溶剂<br>施工中压缩空气中水分 | 生产配方中加防潮剂，包装和存放在干燥的地方<br>工件预处理后要干燥好<br>制粉材料进厂要按标准验收<br>空气过滤器、干燥器要定期排水和更换吸水材料 |
| 气泡 | 粉末中的水分<br>压缩空气中含水 | 包装密封<br>施工中取出粉末后，包装袋要密封<br>压缩空气经油水分离后需干燥，过滤器、干燥器要定期排水和更换吸水材料 |
| 桔纹、桔皮 | 粉末配方设计不合理<br>流平剂质量差<br>促进剂量多<br>涂层不均匀 | 根据材料的技术指标和制粉设备特征、合理设计配方<br>流平剂按标准验收 |
| 不光滑、不平整 | 固化不完全<br>添加剂量不够 | 严格控制固化温度和时间<br>合理配方设计、结合实验、确定合理配方 |

## 4.14　涂装方法的选择

### 4.14.1　选择涂装方法的基本要素有哪些?

涂装方法的选择是否合理，关系到工件的涂装质量、生产批量、涂装的经济性等技术经济效益问题。如选择不当，即使有了性能和质量优良的涂料、良好的涂装环境条件、完善适宜的设备工具、技艺高超的涂装队伍、现代化的组织管理也不可能达到产品涂装预期目的，甚至会造成工期的延误及原材料、财力、物力、能源的损失和不必要的浪费等。

选择涂装方法需要考虑的因素很多，应根据产品涂装的使用环境条件，涂膜质量要求，涂料的性能、用途和涂装特点，涂膜层次，涂膜厚度，涂装产品的基材（材质）、形状和尺寸，涂装前表面状况及预处理方法，涂装必备的设备及工具（包括现有设备工具和需要添置的设备工具），涂装产品的批量，涂料干燥方法及设备条件，涂装环境条件和环保设施，组织机构，涂装技术水平等进行合理选择。

### 4.14.2　如何根据工件的材质、规格、大小及形状选择涂装方法?

1）从工件材质考虑，主要有金属、塑料和木材等。材质不同、表面状况及预处理方法不同，与之配套的涂料品种也不同，应采用不同的涂装方法。对静电喷涂来说，要求表面有一定的导电性，则塑料和木材需经特殊处理才能采用该涂装方法。对电泳涂装来说，仅适合于金属，并且不同金属不能同时进行电泳涂装，而塑料与木材不能采用这种涂装方法。

2）从工件尺寸考虑，对于小件大批量生产就应采取静电喷涂。若采用空气喷涂，涂料利用率很低。

3）从工件形状看，对于有缝隙、拐角等死角部位的复杂形状的工件，不宜采用空气喷涂和静电喷涂，可用高压喷涂或电泳涂装，而平面物体可采用帘幕涂或辊涂。

### 4.14.3　如何根据被涂工件使用的环境条件选择涂装方法?

为了满足工件的涂装目的，就需要选择能够满足产品涂膜质量要求的优良涂料品种，并根据涂料的涂装特点，进而选择相适应的涂装方法。

例如，轿车等高装饰产品涂装，可采用多涂层体系，底漆一般可采用电泳涂装法，中涂、面漆可以采用空气喷涂或静电喷涂。又如，大批量的工业产品涂装，可采用浸涂、辊涂、淋涂、空气喷涂等涂装方法，还可以采用自动涂装生产线的电泳、静电及粉末涂装方法。

总之，被涂工件的使用环境要求与涂装方法的选择是密切相关。

### 4.14.4　涂装时如何根据设备与工具条件选择涂装方法?

选择涂装方法时，既要充分考虑涂装方法所必需的设备、工具，也要考虑工厂的现有设备与工具情况，如既能保证产品的涂装质量、批量要求、一定的经济效益的前提下，又能符合选用涂料的涂装方法时，就可以采用本单位现有设备与工具的涂装方法。这样既能取得高的涂装质量、高的生产效率和经济效益，又能节能、减少环境污染和改善劳动条件。

### 4.14.5　如何根据经济效益、涂装环境及技术力量选择涂装方法?

在能保证涂装产品质量、生产批量的前提下，尽量采用经济效益高的涂装方法：①能采用自干型涂料的，就不要选用烘干型涂料；②能采用淋涂、刷涂、浸涂的，就不要采用喷涂的工艺。

涂装环境条件（施工场地和涂装配套设施），操作者的技术水平条件，对涂层的形成、涂装质量有很大影响。如涂装高保护、高装饰的产品，既要有高素质的人员操作，同时又要有相适应的环境条件保证，如适宜的温湿度、良好的送排风的喷涂室、洁净的烘干设备等，才能有效地保证涂装质量。因此，进行涂装操作时，既要选择性能优良的涂料和正确的涂装方法，也要具备与其相适应的涂装环境条件和操作的技术水平，以及现代化的管理方法，才能获得性能良好的涂膜，达到产品涂装的质量要求。

### 4.14.6　如何根据涂层的配套选择涂装方法?

在现代涂装生产中，要求单层涂装的很少（粉末涂装除外，因一次涂覆能形成较厚涂层）。在选择涂装方法时，要考虑多涂层的配套涂装，使涂装产品既具有较高的装饰性，又满足防腐蚀的要求。

例如，轿车涂层多选用金属闪光漆，在喷涂金属底色时，如采用静电喷涂，片状铝粉材料在静电场作用下呈垂直状态，与空气喷涂时铝片呈水平状态的颜色不同，从车辆的修补角度考虑，最后一道金属底色漆不允许采用静电喷涂，以免影响涂装质量。

# 第5章　涂 装 工 艺

## 5.1　手工涂装

### 5.1.1　手工涂装有什么特点？

手工涂装主要包括刷涂、刮涂和滚刷涂三种。

刷涂是最简便的涂漆方法，所需工具简单，适用范围广，不受涂装场所、环境条件的限制，适用于刷涂各种材质、各种形状的被涂物。同时，对涂料品种的适应性也很强，油性涂料、合成树脂涂料、水性涂料都可以采用刷涂。刷涂时，涂料借助漆刷与被涂物表面直接接触的机械作用，能很好地润湿被涂物表面，并渗入微孔，因而增强了漆膜的附着力。刷涂的缺点是劳动强度大，生产效率较低；漆膜易产生刷痕，装饰性较差，尤其是刷涂快干涂料需掌握熟料的技巧，方能获得满意的漆膜。

刮涂也是一种常用的手工涂装方法，主要用于刮涂腻子，修饰被涂物凹凸不平的表面。刮涂的工具主要有刮刀、腻子盘和打磨工具。

滚刷涂是用圆柱形滚刷蘸附涂料，借助滚刷在被涂物表面的滚动进行涂装，可替代刷涂，适用于入面积的涂装，广泛应用于船舶、桥梁和建筑等的涂装。滚刷主要由刷辊和支撑机构两部分组成。

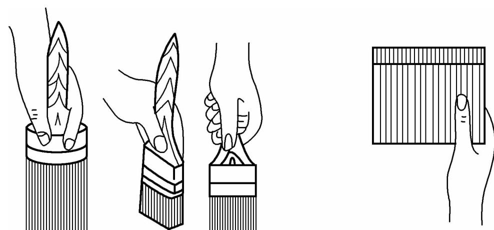


图5-1　刷子的握法

### 5.1.2　刷涂如何进行施工？

涂刷的基本步骤分为蘸油、摊油和理油三步。刷子的握法如图5-1所示，刷涂手法、轨迹如图5-2所示。

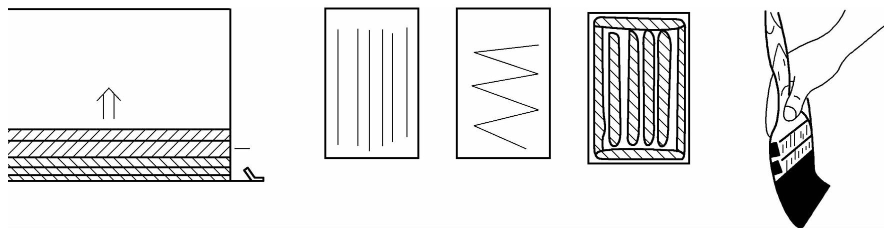


图5-2　刷涂手法、轨迹

开始施工前，整理刷子，梳理清除其中的断毛、脱毛，用溶剂湿润刷毛，甩干多余的溶剂，然后进行蘸油、摊油、理油三步操作。

（1）蘸油　先将漆刷浸湿、甩干，将全刷毛的1/2刷毛浸满涂料，浸满涂料后将

漆刷在容器口边刮去多余的涂料，防止蘸取涂料过多，涂膜厚流挂或涂料滴落给施工带来困难。或蘸取涂料后在容器边沿内侧轻拍一下，理顺刷毛去掉多余的涂料。

（2）摊油　将漆刷上所蘸的涂料转移到涂刷面上，按照涂布和抹平进行操作，刷子的运行轨迹根据涂料在被涂物表面的流平和渗透情况，保留一定的间隔。摊油时要用力均匀，由摊油段上半部向上走刷，耗尽油刷背面的涂料，油刷走到尽头再向下走刷，耗尽油刷正面的涂料。摊油各刷的间距一般为 5～6cm，不吃油的物面间距可留三倍的漆刷宽，吃油严重的物面可不留间距。摊完油后要抹平，用不蘸油的刷子将摊好的涂料向横向、斜向均匀地展开抹平，将所有的间隙表面都涂覆上涂料，使被涂面不露底色。

（3）理油　理油即修整，按照一定的方向刷匀涂料，消除刷痕与漆膜厚薄不均现象。修整方法是用漆刷顶部轻轻地将涂料上下理顺，使涂膜厚薄均匀。修整走刷平稳，用力均匀，漆刷与物面垂直。走刷结束时，如在有纹路的基层上修整应顺纹路修整，垂直面从上往下修整，水平面顺光线照射的方向修整，整个修整过程运刷均匀，不能中途停顿后再起刷，以免留下刷痕。在走刷的同时逐渐将刷子抬起留下接茬口，为下一次蘸油、摊油、理油留下一层薄薄的涂层搭接用。下一次摊油落刷在两次搭接处时将刷倾斜，涂薄层，保持两次刷涂的接茬处涂膜厚度与其他处一致。刷涂应注意的问题：刷涂蘸取涂料、涂布、抹平和修整几个步骤是连贯进行的，不能停顿有间隙，几个步骤融合在一起一次完成。涂布、抹平和修整几个步骤纵横交错进行刷涂，修整时最后一步沿垂直面方向进行竖刷，木纹面要顺木纹方向刷。抹平和修整操作是有区别的，抹平漆刷处于垂直状态，用力将刷毛大部分粘附在被涂物表面运行，修整时漆刷向运行方向倾斜，用刷毛的前端轻轻刷涂。

### 5.1.3　刷涂操作中有哪些注意事项？

1）刷涂时，漆刷蘸涂料、涂布、抹平、修整这几个操作步骤应该是连贯的，不应该有停顿的间隙。熟练的操作者可以将涂布、抹平、修整三个步骤融合为连续的一步完成。

2）涂布、抹平、修整三个步骤应纵横交替的刷涂，但被涂物的垂直面，最后一个步骤应沿着垂直方向进行竖刷。木质被涂物最后一个步骤应与木纹同一方向刷涂。

3）在进行涂布和抹平操作时，漆刷要求处于垂直状态，并用力将刷毛大部分贴附在被涂物表面，但在修整时，漆刷应向运行的方向倾斜，用刷毛的前端轻轻地刷涂修整，以便达到满意的修整效果。

4）刷涂面积较大的被涂物时，通常应先从左上角开始刷涂，每蘸一次涂料后按照涂布、抹平、修整三个步骤完成一块刷涂面积后，再蘸涂料刷涂下一块刷涂面积。

5）漆刷每次的涂料蘸附量最好基本保持一致，只要漆刷的规格选用得当，漆刷每次蘸附的涂料刷涂面积也能基本保持一致。

6）仰面刷涂时，漆刷蘸附涂料要少一点，刷涂时用力也不要太重，漆刷运行也不要太快，以免涂料掉落。

### 5.1.4　漆刷应如何进行维护？

1）新漆刷在使用前，可在刷毛根部浸入硝化纤维清漆或虫胶漆，使刷毛在根部尽量粘附牢固，以防漆刷刷毛根部粘结不牢脱毛。

2）漆刷在使用前应尽量去掉浮毛。去掉浮毛的方法通常是将漆刷蘸少许涂料，在粗糙的板面上反复揉搓，使浮毛掉落，再用刮刀从刷毛的根部向刷毛的前端推刮，反复推刮几次，最后将漆刷在砂纸上刷磨，将漆刷的前端修整成整齐的扁平状。

3）漆刷使用后要清洗干净。首先用刮刀将漆刷上残留的涂料尽量刮掉，然后用稀释剂清洗。刷涂油性漆、调合漆的漆刷，可用200号溶剂汽油、煤油清洗；刷涂合成树脂涂料的漆刷，可用其配套的稀释剂清洗；刷涂水性涂料的漆刷，用水或配以亲水溶剂清洗。清洗时，不要将刷涂不同颜色、不同种类涂料的漆刷在同一清洗容器内清洗。

## 5.2 浸涂、淋涂、辊涂和帘幕涂

### 5.2.1 浸涂工艺对涂料有何要求？

浸涂槽一次投入的涂料量大，少则几百公斤，多则几十吨，涂料入槽后要长期反复使用，所以要求涂料长期稳定不变质，沉降速度慢，能保持槽内的涂料组分分布均匀，因此，对涂料的选用要得当。

烘烤型涂料和水性涂料比较适宜采用浸涂方法。烘烤型涂料和水性涂料在常温条件下比较稳定，所含稀释剂挥发速度较慢，需在加热烘烤条件下才能交联固化成膜。这类涂料有沥青烘漆、酚醛树脂烘漆、醇酸树脂烘漆、氨基醇酸树脂烘漆、环氧酯烘漆、环氧酚醛树脂烘漆、水性丙烯酸树脂烘漆等。自干型涂料如酚醛树脂、醇酸树脂、环氧酯等自干型涂料也可采用浸涂方法，由于其自然干燥成膜时间长，不宜连续大批量涂漆作业，但这类涂料的某些品种也可以采用加热烘烤成膜。

快干型涂料、固化剂固化涂料和颜填料密度大的涂料不适宜采用浸涂方法。快干型涂料如硝基纤维涂料、过氯乙烯树脂涂料，所用的溶剂和稀释剂挥发速度快，漆膜处于流动状态的时间短，不利于漆膜流平和去余漆；固化剂固化涂料如双组分聚氨酯涂料、胺固化环氧树脂涂料，当两组分混合调匀后，必须在规定时间内用完，不适宜大量配制用于浸涂槽。颜填料密度大的涂料如富锌防锈涂料，所含锌粉密度大、沉降快，在浸涂槽内即使搅拌也难使涂料的组分保持均匀一致。

### 5.2.2 浸涂主要工艺条件是什么？

浸涂主要工艺条件见表5-1。

**表5-1 浸涂主要工艺条件**

| 项目 | 一次浸涂漆膜厚度/μm | 涂料粘度（涂-4杯，20℃）/s | 涂料温度/℃ |
|---|---|---|---|
| 工艺参数 | 30左右 | 20~30 | 20~30 |

（1）涂料粘度　浸涂最合适的涂膜厚度是30μm左右，厚度的控制是通过控制涂料粘度实现的，随粘度的变化而增减。涂料粘度影响涂料的流动性，粘度低在被涂物表面流动性好，对去余漆有利，如果粘度过低则会导致漆膜过薄，反之，涂料粘度过高在被涂物表面流动性差，不易流平，流痕严重，漆膜不平整，对去余漆不利，因此，浸涂时应确定合适的涂料粘度，并严格控制。

（2）涂料温度　涂料粘度与温度关系密切，涂料粘度随涂料温度变化而变化，因

此对浸涂槽的涂料温度必须严格控制，使其保持稳定。如果所用涂料的常温粘度过高，则需适当提高温度，达到合适的粘度，以利于浸涂。

### 5.2.3　什么是浸涂时自然滴落去余漆？

自然滴落去余漆是被涂物浸漆后，表面蘸附多余的涂料依靠自身的重力，自然滴落除去。实际上被涂物从浸涂槽开始上提时，余漆就开始自然滴落，因此，被涂物上提的速度要均匀，尤其是大型被涂物上提时，不要时快时慢，以免影响漆膜的均匀性。

为获得余漆自然滴落的良好效果，被涂物的最佳吊挂状态应是其最大表面与水平近似垂直，而其他表面与水平呈倾斜状态，其夹角宜为 10° ~ 40°。如果余漆去不净，可辅以漆刷刷掉。

### 5.2.4　什么是浸涂时静电去余漆？

静电去余漆的原理是：平板（或网状）电极（负极）与高压静电发生器接通后，当接地的被涂物（正极）通过静电去余漆区时形成静电场，余漆受静电场的作用滴落。静电去余漆速度快，可改善被涂物上下部漆膜厚度不一致的缺陷。

电极与被涂物之间的距离是确保必要的静电场强度的重要条件，通常为 200 ~ 300mm。在静电电压恒定的条件下，被涂物余漆流出处表面积小，其间距可大一些、余漆流出处表面积大，其间距可相对小一些，总之，为获得满意的去余漆效果，应根据被涂物的状况调整极间距离。电极与被涂物之间的距离，还受静电场电压的影响，如果静电场电压改变了，其间距也应随着进行调整。确定电极与被涂物之间的距离，还应考虑防止火花放电。当静电场电压为 85kV 时，发生火花放电的距离约为 100mm，通常为保证去余漆作业安全可靠，电极与被涂物之间的距离应不小于火花放电距离的 2 倍。

### 5.2.5　淋涂主要工艺条件是什么？

淋涂主要工艺条件见表 5-2。

**表 5-2　淋涂主要工艺条件**

| 项　　目 | 工 艺 参 数 | 项　　目 | 工 艺 参 数 |
|---|---|---|---|
| 涂料粘度（涂 -4 杯）/s | 30 ~ 100 | 泵压式喷淋压力/MPa | 0.15 ~ 0.35 |
| 涂料温度/℃ | 20 ~ 25 | 淋漆时间/min | 1 ~ 2 |
| 自重式喷淋喷嘴/mm | 7 ~ 10 | 滞留时间/min | 8 ~ 20 |
| 泵压式喷淋喷嘴/mm | 1.5 ~ 2.5 | | |

（1）选用涂料注意漆膜干燥速度　淋涂与浸涂相比，被涂物表面完全被漆膜覆盖、漆膜流平与滴去余漆的过程较长，主要应选用漆膜表干较慢的烘烤型涂料和自干型涂料。

（2）淋漆粘度的确定　淋涂工艺涂料粘度适应范围宽，只需根据涂料的特性与漆膜厚度的要求，确定合适的淋漆粘度。

（3）定时补充溶剂调整涂料粘度　由于淋漆时涂料处于喷射状态，溶剂挥发快，涂料粘度不稳定，呈逐渐上升趋势，必需定时检测粘度补充溶剂。还应根据作业环境温度的变化，采取加热或冷却措施，确保粘度稳定。

（4）合理选择喷嘴直径和喷淋压力　根据涂料的喷淋粘度和被涂物的形状选择喷

嘴直径和喷淋压力，高粘度涂料和大型被涂物可选用直径大的喷嘴或较高的喷淋压力；反之，粘度较低的涂料和小型被涂物，则可选用直径小的喷嘴和较低的喷淋压力。

（5）滞留时间的确定　被涂物淋漆后进入滞留区，滞留时间应根据滴去余漆的速度和漆膜流平的效果选择确定。

### 5.2.6　辊涂时如何保证供料方式与涂料消耗量相适应？

辊涂机的供料方式有底部供料与顶部供料之分，两者所适应的涂料消耗量范围是不相同的。

底部供料时，在取料辊的下面设有一涂料盘、取料辊部分浸渍在涂料中，辊涂时涂料润湿并蘸附在取料辊的表面，随着取料辊在涂料盘中转动，不断地从涂料盘中获取涂料。这种供料方式在进行厚膜或高速涂装时，因涂料消耗量大，容易产生供料不足，使涂膜出现厚度不匀或漏涂的缺陷。高粘度涂料由于润湿性差，涂料粘度越高，取料辊在涂料盘中蘸取涂料越困难，也越容易导致供料不足，不能满足涂料消耗量的要求。

顶部供料时，涂料是经涂料泵喷淋到取料辊的上部，然后借助涂料自身的重力，自上而下的在取料辊表面流展。这种供料方式涂料的润湿、蘸附作用不是取料辊获取涂料的主要因素，只要根据涂料消耗量，调整涂料泵的输送量，就不会出现供料不足的问题，因此，顶部供料方式比底部供料方式适合更多的涂料消耗范围宽。

### 5.2.7　辊涂时如何控制涂膜的厚度？

辊涂的涂膜厚度主要通过调整取料辊与涂敷辊（或调节辊与取料辊）之间的间隙与周速比进行控制。

同向辊涂机由于转辊转动方向相同，调整转辊之间的间隙，涂膜厚度随间隙的增大而增厚。但这类辊涂机只适用于低粘度涂料，其膜厚的调整控制范围在20μm以内。

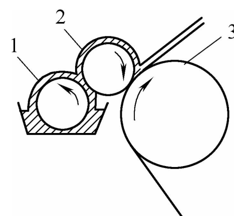



图5-3　逆向辊涂机（卷材辊涂）

1—取料辊　2—涂敷辊　3—支持辊

逆向辊涂机如图5-3所示，由于取料辊与涂敷辊系同向转动，通过调整它们之间的间隙控制涂膜厚度，涂膜厚度随间隙增大而增厚。同样调整取料辊滁敷辊的周速比也能调整涂膜厚度，周速比增大，涂料的涂敷量增加，涂膜厚度随着增厚。这种调整钢制转辊（取料辊）与橡胶转辊（涂敷辊）之间的间隙控制涂膜厚度的方法，必须根据涂料粘度（0.1～0.5Pa·s）决定涂膜厚度的控制范围，粘度低的涂料涂厚膜困难，高粘度涂料涂膜厚度会偏高，实际的涂膜厚度控制范围是1～70μm（湿膜厚度）。

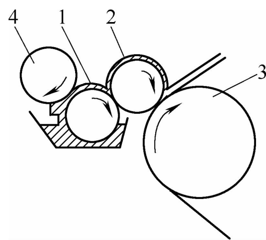



图5-4　全逆向辊涂机（卷材辊涂）

1—取料辊　2—涂敷辊　3—支持辊　4—调节辊

全逆向辊涂机如图5-4所示，适应于高粘度（0.5Pa·s以上）涂料、进行50μm以上的厚膜涂装。这种辊涂机是通过调整低速逆向转动的调节辊控制取料辊上的湿膜厚度，涂膜厚度随着它们之间的间隙增大而增厚。这种全逆向辊涂机即使流平性不好的触变型涂料也能获

得平滑的涂膜。取料辊与涂敷辊两者都是钢质的，涂膜厚度的控制比较容易，如果其中之一为橡胶辊，在涂装作业时，要注意橡胶辊的溶胀、磨损等变化情况，经常检查涂膜厚度，并及时进行调整。

### 5.2.8　如何保证辊涂时的涂敷效果?

为使涂敷辊上的湿涂膜涂敷（转移）到被涂卷材（或板材）表面，并获得满意的涂敷效果，必须选用适当的涂敷辊/支持辊的周速比。

逆向辊涂时涂敷辊的转动方向与被涂卷材移动的方向相反，涂敷辊上的涂料全部被刮落、涂敷（转移）在卷材的表面。在刮落、涂敷（转移）过程中，湿涂膜经受很强的剪切速度（$10^5 s^{-1}$），这种剪切作用能使触变型涂料的粘度降低，改善流平性。逆向辊涂时，涂敷辊/支持辊的周速比要选择适当，通常选用的周速比是稍大于1，可使涂敷辊与卷材表面的湿膜厚度近似。如果小于1，会导致涂料供给不足，卷材表面的湿膜厚度会达不到预计的要求；如果周速比过大，会使卷材表面的湿膜厚度过厚。

同向辊涂机如图5-5所示，涂敷辊的转动方向与被涂卷材移动的方向相同，涂敷辊上的涂料是借助涂料的湿润、蘸附作用与被涂卷材的移动，将涂料涂敷在卷材表面。当涂敷辊转动速度与被涂卷材移动速度相同时，涂敷辊上的涂料几乎只有一半涂敷（转移）到卷材表面，为了使卷材表面获得所要求的涂膜厚度，通常选择涂敷辊/支持辊的周速比小于1，即涂敷辊的转动周速小于被涂卷材的移动速度。周速比越小，涂敷辊与被涂卷材之间的涂料越易受到剪切作用，有利于提高涂膜的外观质量。但对改善触变型涂料与高粘度涂料的流平性效果不明显，涂膜表面易残留有与卷材移动方向平行的条痕。

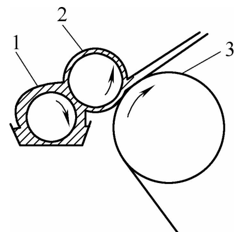


图5-5　同向辊涂机（卷材辊涂）
1—取料辊　2—涂敷辊
3—支持辊

涂敷过程中，由于涂料与大气接触的表面积大，溶剂挥发快，易使涂料粘度发生变化，因此，应尽量采用沸点较高的溶剂，提高涂料粘度的稳定性。

### 5.2.9　辊涂时如何选择橡胶辊?

橡胶辊主要用作涂敷辊，只是当被涂物为软质、挠曲性的材质时，如纸、布、金属膜、塑料薄膜等，才采用钢质涂敷辊，橡胶辊用作支持辊。

橡胶辊的构造是在钢质辊的表面衬贴一层橡胶，橡胶衬贴层的厚度应不小于1.9cm，一般为2.5cm。用于橡胶辊的橡胶有聚氨酯橡胶、丁腈橡胶、丁基橡胶、天然橡胶等，目前大都采用聚氨酯橡胶。

橡胶辊的橡胶衬贴层应根据涂料特性与被涂物材质，选用硬度合适且耐溶剂的橡胶。一般选用的硬度范围为30～80（橡胶的硬度以玻璃作为100）。橡胶硬度过低，与被涂物表面容易贴合，但橡胶衬贴层多产生厚度不均的缺陷，容易磨损变形，且不耐溶剂侵蚀。橡胶硬度过高，其耐磨性与耐溶剂性均较好，但与被涂物表面不易贴合良好，如果被涂物不平整，会产生涂膜厚度不均的缺陷。橡胶衬贴层应具有良好的耐各种溶剂侵蚀的性能，衬贴层如果被溶剂侵蚀、溶胀，会使所控制的涂膜厚度发生变化，达不到预计的要求，且物理性能也会随着劣化，容易损伤。各种橡胶耐溶剂侵蚀的能力不同，其物理性能也各不相同，见表5-3。

表 5-3　各种橡胶的性能

| 性能＼品种 | | 聚胺脂橡胶 | 丁腈橡胶 | 丁基橡胶 | 天然橡胶 | 丁二烯橡胶 | 氯丁二烯橡胶 | 聚硫橡胶 | 硅橡胶 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 硬度范围 | | 20～70 | 20～80 | 40～80 | 20～30 | 15～20 | 10～90 | 20～80 | 80～90 |
| 抗拉性 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | □ | □ |
| 耐磨性 | | ◎ | ◎ | □ | ◎ | ○ | ○ | □ | □ |
| 耐酸性 | | △ | ○ | ◎ | □ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 耐盐水性 | | △ | ○ | ◎ | ○ | ◎ | ○ | □ | ◎ |
| 抗氧化性 | | ◎ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ |
| 耐油性 | | ◎ | □ | △ | □ | ◎ | ○ | ◎ | ○ |
| 耐热性 | | □ | □ | ○ | □ | ○ | ○ | □ | ◎ |
| 耐溶剂性 | 脂肪族类 | ◎ | □ | △ | □ | ◎ | ○ | ◎ | □ |
| | 芳香族类 | ○ | □ | △ | △ | ○ | △ | ○ | ○ |
| | 醇类 | □ | △ | ○ | △ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ |
| | 酮类 | × | △ | ○ | △ | × | △ | ○ | ○ |
| | 醚类 | △ | △ | △ | △ | △ | △ | □ | ○ |
| | 酯类 | △ | △ | △ | △ | △ | □ | □ | ○ |
| | 氯化合物 | × | △ | □ | △ | △ | △ | △ | ○ |

注：◎—最好；○—较好；□—好；△—较差；×—最差。

### 5.2.10　帘幕涂有哪些工艺要点?

涂料粘度、涂料压力、涂料帘幕流出狭缝宽度与被涂物输送速度是影响涂料帘幕的稳定性与涂布量的重要因素，涂装作业时，应选择适当的工艺参数。

1. 涂料粘度

帘幕涂的涂料粘度范围是 30～120s（涂 -4 杯），应根据涂料品种、被涂物材质和所要求的涂膜厚度选择适当的粘度。硝基纤维涂料和一般合成树脂涂料通常选用的粘度是 30～60s（涂 -4 杯），金属被涂物选用的粘度是 30～50s（涂 -4 杯），木质被涂物选用的粘度是 70～100s（涂 -4 杯）。

2. 涂料帘幕流出狭缝宽度

通常涂料帘幕流出狭缝越宽，涂料的涂布压力也越恒定时，狭缝窄，帘幕流落的速度相应地快一些。狭缝过窄会因涂料流出量少，使涂料帘幕断开涂物输送速度不相配，也会产生涂料帘幕断开的缺陷。同样宽度的狭缝，涂料粘度不同，涂料帘幕流落的速度与涂布量也是不相同的，粘度高密度大的涂料狭缝宜宽一点，粘度低密度小的涂料狭缝宜窄一点。

涂料帘幕流出狭缝的宽度对涂料帘幕的稳定性与涂布量影响更大，应根据涂料粘度与所需的涂布量确定合适的宽度。一般涂料选用的狭缝宽度为 0.5～0.8mm。

3. 涂料压力

涂料压力对涂料涂布量的影响很大，增加涂料压力，涂料帘幕流落的速度随之加

快，涂布量也相应增加。所以，在涂料帘幕流出狭缝宽度与被涂物输送速度恒定时，涂料涂布量随涂料压力的变化而增减。一般涂料选用的压力为 0.01～0.02MPa。

4. 被涂物的输送速度

被涂物的输送速度与涂料涂布量的关系如图 5-6 所示，输送速度加快，涂布量减少，相反，输送速度减慢，涂布量增多。这是由于当涂料帘幕流落的速度恒定时，输送速度快，在单位时间内涂敷的面积大，所以涂料涂布量相应的少；输送速度慢，在单位时间内涂敷的面积小，涂料的涂布量就会相应的多。因此，通过调整被涂物的输送速度，就可以达到调整涂布量的目的。通常选用的被涂物输送速度为 70～100m/min。

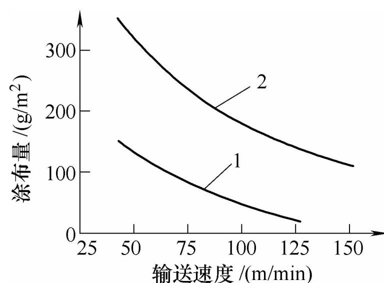



图 5-6　被涂物的输送速度与涂料涂布量的关系

1—帘幕流出狭缝宽度 0.4mm（压力 0.01MPa）

2—帘幕流出狭缝宽度 0.6mm（压力 0.02MPa）

### 5.2.11　转鼓涂有哪些工艺要点?

1）转鼓内被涂物投装量应为转鼓容积的 50%～60%。

2）转鼓的转速应控制在 20～40r/min 范围内。

3）涂料的粘度可根据被涂物的形状确定，一般为 16～20s（涂－4 杯、20℃）较合适。

4）涂料的投入量通常开始少，然后再根据漆膜覆盖情况进行补充。

5）转涂时间由于被涂物的形状不同，所需时间是有差别的。一般只需几分钟即可获得满意的涂敷效果。

6）转涂完毕后，将被涂物卸出摊放在铁丝网上，转入干燥工序。

## 5.3　空气喷涂

### 5.3.1　空气喷涂作业的操作过程包括什么?

1. 涂料的雾化

空气喷涂是通过空气和涂料混合使涂料雾化，雾化效果直接影响到涂膜的质量。涂料的雾化程度取决于空气喷出量与涂料喷出量之比 $Q_i$，即在涂料喷出量一定的情况下，空气喷出量越大，涂料雾化越细，这就是喷枪的微粒化特性。而空气喷出量决定于空气帽中心孔与辅助空气孔喷出空气的速度与流量。对于不同规格的喷枪，在进行喷涂作业时，为了达到必要的雾化程度，必须首先确定 $Q_i$。尽管大喷枪的空气喷出量和涂料喷出量都比小喷枪大，但要达到相同的雾化程度，其 $Q_i$ 值应该是相似的。对于同一喷枪，既可以采用增大空气喷出量的方法，也可以采用减小涂料喷出量的方法，来增大 $Q_i$ 值，使漆雾变细。

2. 喷枪的调节

喷涂作业前，必须根据被涂物的形状、涂装的质量要求，将喷枪的空气压力、涂料

喷出量和喷雾图形的幅宽调整到适宜的喷涂条件，而这三者之间有着密切的关系。①空气压力的调节喷枪的空气压力有一定的调节范围。空气压力高，漆雾粒子细飞散多，涂料损失大；空气压力低，漆雾粒子粗，涂膜表面粗糙，会产生桔皮、针孔等缺陷，所以应适当选择压力，并且保持压力稳定。②涂料喷出量的调节涂料喷出量大，工作效率高，但是对于吸上式和重力式喷枪，涂料喷出量受到空气压力（或空气量）的限制。由于空气压力的升高是有限的，过多地增加涂料喷出量，会造成漆雾粒子粗，影响涂膜质量。压送式喷枪是通过调节增压罐的压力来调节涂料喷出量，然后再调节喷枪的涂料喷出量调节机构，达到合适的喷出量。③喷雾图形的调节喷雾图形的大小称为喷雾幅宽，对于圆形的喷雾图形是指它的直径，对于椭圆形的喷雾图形是指它的长轴长度。通过喷枪上部的调节螺栓可以控制空气帽侧面空气孔的空气流量，实现喷雾图形的调节。关闭侧面空气孔，喷雾图形呈圆形，主要用于较小的被涂物表面；打开侧面空气孔，喷雾图形变成椭圆形，主要用于大面积喷涂，应用广泛；侧面空气孔的空气流量越大，喷雾幅宽越大。虽然增加空气压力会增加喷雾幅宽，但超过一定的限度，喷雾图形的中心部分会变窄直至断开。横向喷涂时，应将空气帽的侧面空气孔调到横轴位置；纵向喷涂时，应将侧面空气孔调到纵轴位置。

### 5.3.2　空气喷涂时如何选择喷涂距离?

喷涂距离指喷枪前端到被涂物的距离。一般情况下大喷枪喷涂距离为 20 ~ 30cm，小喷枪为 15 ~ 25cm。

喷涂时，喷涂距离的保持恒定是确保漆膜厚度均匀一致的重要因素之一。喷涂距离过近，在单位时间形成的涂膜厚，易产生流挂；喷涂距离过远，涂膜变薄，涂料损失大，严重时涂膜表面粗糙。喷枪的运行方式包括喷枪与被涂面的角度和喷枪的运行速度。喷枪与被涂面应垂直，平行运行，才能保证喷涂距离恒定。

喷涂距离影响漆膜厚度与涂着效率，在同等条件下，距离近，漆膜厚，涂着效率高；距离远，漆膜薄，涂着效率低，如图 5-7 和图 5-8 所示。喷涂距离过近，在单位时间内形成的漆膜过厚，易产生流挂；喷涂距离过远，则涂料飞散多，且由于漆雾粒子在大气中运行时间长，稀释剂挥发太多，漆膜表面粗糙，涂料损失也大，如图 5-9 所示。

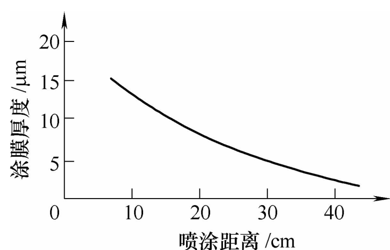



图 5-7　喷涂距离与漆膜厚度的关系

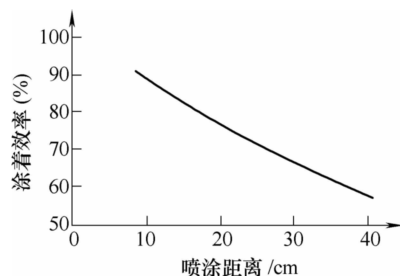



图 5-8　喷涂距离与涂着效率的关系

喷涂时，喷枪必须与被涂表面垂直，运行时保持平行，才能使喷涂距离恒定。如果

喷枪呈圆弧状运行，则喷涂距离在不断变化，所获得漆膜中部与两端将产生明显差别，如图 5-10a 所示。如果喷枪倾斜，则喷雾图形的上部和下部的漆膜厚度，也将产生明显的差别，如图 5-10b 所示。喷涂距离与喷雾图形的幅宽也有密切关系，如图 5-11 所示。如果喷枪的运行速度与涂料喷出量保持不变，喷涂距离由近及远逐渐增大，其结果将是喷涂距离近时，喷雾图形幅宽小，漆膜厚；喷涂距离增大时，喷雾图形幅宽大，漆膜薄。如果喷涂距离过大，喷雾图形幅宽也会过大，且会造成漆膜不完整、漏底等缺陷。

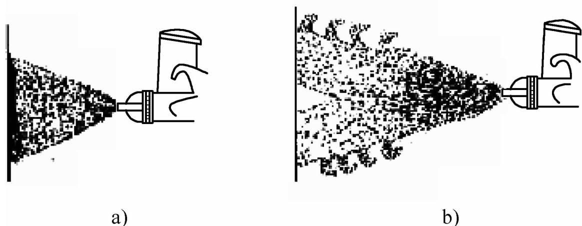


图 5-9　喷涂距离不当所产生的缺陷
a）距离过近　b）距离过远

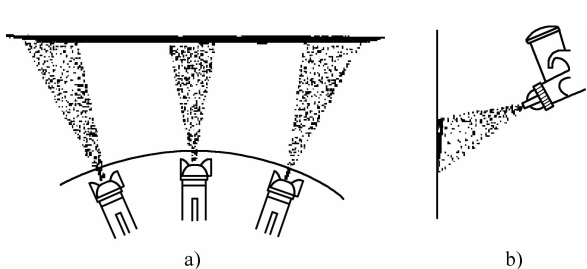


图 5-10　喷枪运行不当对喷涂距离的影响
a）喷枪圆弧状运行　b）喷枪运行时倾斜

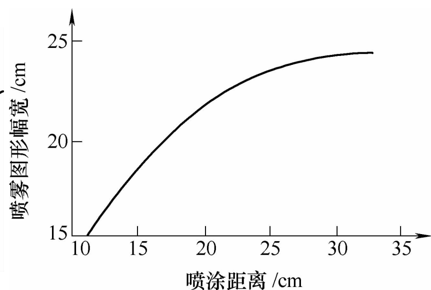


图 5-11　喷涂距离与喷雾图形幅宽的关系

### 5.3.3　空气喷涂时如何控制喷枪运行速度？

喷涂作业时，喷枪运行速度要适当，并保持恒定。喷枪的运行速度一般应控制在 30～60cm/s 范围内，当运行速度低于 30cm/s 时，形成的漆膜厚，易产生流挂；当运行速度大于 60cm/s 时，形成的漆膜薄，易产生漏底的缺陷。被涂物小且表面凹凸不平时，运行速度可慢一点，被涂物大且表面较平整时，在增加涂料喷出量的前提下，运行速度可快一点。喷枪的运行速度与漆膜厚度有密切关系，如图 5-12 所示，在涂料喷出量恒定时，运行速度 50cm/s 时的漆膜厚度与 25cm/s 时的漆膜厚度相差 4 倍，所以，应按照漆膜厚度的要求确定适当的运行速度，并保持恒定，否则，漆膜厚度不能均匀一致。

确定喷枪运行速度，还应考虑涂料的喷出量。在通常情况下，对于 1cm 喷雾图形幅宽的涂料喷出量以 0.2mL/s 为宜，如图 5-13 所示，如果喷雾图形幅宽为 20cm，则涂料喷出量应为 4mL/s。由此可见喷雾图形幅宽不变，而涂料喷出量增加或减少，则喷枪运行速度应随着加快或减慢。同样，如果涂料喷出量不变，喷雾图形幅宽增大或减小，喷枪运行速度也应随着加快或减慢。可见喷枪运行速度受涂料喷出量与喷雾图形幅宽的制约，影响喷枪运行速度的因素见表 5-4。

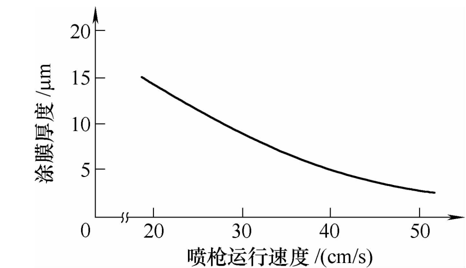



图 5-12 喷枪运行速度与涂膜厚度的关系

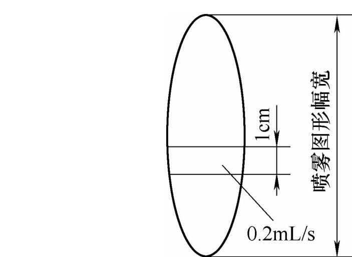



图 5-13 涂料喷出量与喷雾图形幅宽

**表 5-4 影响喷枪运行速度的因素**

| 涂料喷出量 | 喷雾图形幅宽 | 喷枪运行速度 | 涂料喷出量 | 喷雾图形幅宽 | 喷枪运行速度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 多 | 大 | 快 | 多 | 小 | 快 |
| 少 | 大 | 慢 | 少 | 小 | 慢 |

### 5.3.4 空气喷涂时如何控制喷雾图形的搭接?

喷雾图形的搭接喷雾图形搭接是指喷涂时喷雾图形之间的部分重叠。由于喷雾图形中部漆膜较厚，边沿较薄，喷涂时必须使前后喷雾图形相互搭接，才能使漆膜均匀一致，如图 5-14 所示。控制相互搭接的宽度，与漆膜厚度的均匀性关系密切。搭接的宽度应视喷雾图形的形状不同而各有差异，椭圆形、橄榄形和圆形三种喷雾图形的平整度是有差别的，如图 5-15 所示。一般情况下，按照表 5-5 所推荐的搭接宽度进行喷涂，可获得平整的漆膜。

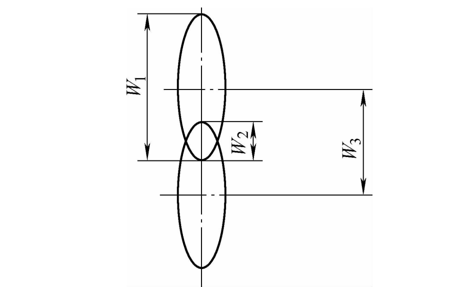



图 5-14 喷雾图形的搭接

$W_1$—喷雾图形幅宽 $W_2$—重叠宽度 $W_3$—搭接间距

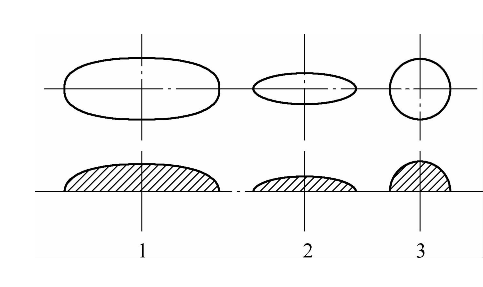



图 5-15 喷雾图形的种类与平整度

1—椭圆形 2—橄榄形 3—圆形

**表 5-5 喷雾图形的搭接**

| 喷雾图形 | 重叠宽度 | 搭接间距 |
|---|---|---|
| 椭圆形 | 1/4 | 3/4 |
| 橄榄形 | 1/3 | 2/3 |
| 圆形 | 1/2 | 1/2 |

### 5.3.5　空气喷涂时如何控制涂料的粘度?

涂料的粘度也是喷涂作业要注意的问题。涂料粘度影响涂料喷出量，如用同一口径喷嘴喷涂不同粘度的涂料，由于从涂料罐到涂料喷嘴前端这段通道所受的阻力是不相同的，粘度高的涂料所受的阻力大，涂料喷出量少，粘度低的涂料所受的阻力小，涂料喷出量必然相对要多一些。

涂料的粘度影响涂膜的平整度。涂料粘度对雾化效果有密切关系，如在涂料喷出量相同的情况下，粘度为 20s 和 40s 的两种涂料，其漆雾粒子直径相差是很明显的，如图 5-16 所示。漆雾粒子直径的差异将会导致漆膜平整度的差异。

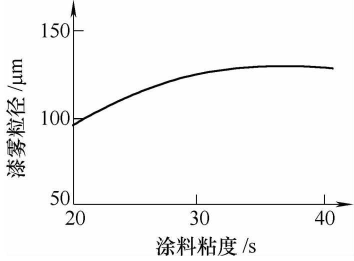



图 5-16　涂料粘度对漆物粒径的影响

喷涂时，应重视涂料粘度，在喷涂前应对涂料进行必要的稀释，将喷涂粘度调整到合适的范围，常用涂料适宜的喷涂粘度见表 5-6。另外，由于各种涂料的特性不同，虽经稀释调整喷涂粘度，其喷涂粘度是各不相同的，所以，在确定喷涂条件时，也应考虑涂料粘度这个因素。如用同一口径喷枪，喷涂粘度高的涂料可将涂料喷出量控制小一点；喷涂粘度低的涂料相应地可将涂料喷出量调整大一点。

温度会使涂料粘度发生变化，而且这种变化会因稀释率不同而不同，如图 5-17 所示。温度过低会使涂料粘度增高，影响涂料雾化效果，漆膜平整度差；温度过高会使涂料粘度急骤降低，导致漆膜厚度下降。喷涂时，应将涂料温度控制在 20 ~ 30℃ 范围内，同时，也应注意作业环境温度对涂料粘度的影响，并适时调整喷涂条件。

**表 5-6　常用涂料适宜的喷雾粘度**

| 涂料种类 | 粘度（涂 -4 杯）/s | 标准粘度/ $\times 10^{-3}$ Pa · s |
|---|---|---|
| 硝基树脂漆和热塑性丙烯酸树脂漆 | 16 ~ 18 | 35 ~ 46 |
| 氨基醇酸树脂漆和热固性丙烯酸树脂漆 | 18 ~ 25 | 46 ~ 78 |
| 自干型醇酸树脂漆 | 25 ~ 30 | 78 ~ 100 |

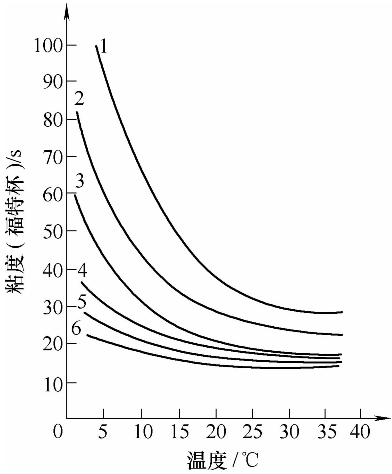



图 5-17　温度对粘度的影响
（氨基酸树脂油漆）
1—稀释 10%　2—稀释 15%
3—稀释 10%　4—稀释 25%
5—稀释 30%　6—稀释 35%

### 5.3.6 空气喷涂作业有哪些注意事项？

（1）防止杂物混入涂料　喷涂前涂料必须过滤，除去涂料中的杂质，不能混入灰尘、结块的涂料。喷涂装置所有涂料通道要保持清洁，避免因前次喷涂后清洗不净的残留物，堵塞喷枪和管路。拆卸和组装时，要避免蘸附灰尘和其他脏物，以免混入涂料影响漆膜外观。

（2）防止蘸污喷涂装置　喷涂装置要完全避免蘸污、保持清洁很不容易，但喷涂作业时必须使喷涂装置处于清洁状态。如果喷涂装置蘸附有灰尘、废漆等污物，喷涂时将会影响喷涂质量，特别是喷枪枪头，如果蘸附有污物，将会影响雾化效果。喷涂装置在清洗时，要将蘸附的污物刷洗干净。

（3）注意运动部件的磨损　涂料中含有比较多的硬质颜填料，这些硬质材料容易磨损喷涂装置的运动部件，喷涂装置的故障大多由此而产生。因此，应经常检查运动部件的磨损情况与密封件的密封情况，以便尽早维护或更换。

（4）注意稀释剂对管路和密封垫的侵蚀　涂料的稀释剂对管路和密封垫有侵蚀作用，因此必须采用耐稀释剂侵蚀的管路和密封垫。但是，一般涂料不通过的部位，可以采用不十分耐稀释剂的材料，只是清洗时要避免与稀释剂接触。

（5）防止静电火花放电　溶剂型涂料多数是绝缘体，当喷涂作业时，涂料大量流动或向容器内大量注入涂料时，涂料与被涂物或容器接触，由于相互急骤摩擦而产生静电荷，这些静电荷集聚在被涂物或容器表面，当接触接地的物品时，则产生火花放电，这是涂装作业引起火灾的原因之一。因此，所有喷涂装置都应有可靠的接地措施。

### 5.3.7 什么是热喷涂？

喷涂加热的涂料称为热喷涂。加热喷涂的方法，最初是为了提高硝基涂料的固体含量，后来，为满足提高涂装质量、缩短涂装作业周期、节省能源减少公害的要求，涂料加热喷涂被广泛应用。热喷涂有如下特点：

1）可以节省溶剂30%左右，有机溶剂挥发量少，有利于减轻对环境的污染。

2）改善了涂料的流平性，能提高漆膜的丰满度与光泽。

3）涂料的固体含量提高，可以提高喷涂一道的漆膜厚度，可缩短涂装作业周期。

4）喷涂粘度稳定，不会受季节气候变化的影响，能确保漆膜厚度均匀一致。

### 5.3.8 热喷涂操作中有哪些注意事项？

（1）必须注意涂料对热喷涂的适应性　有些涂料如双组分聚氨酯涂料、水分散热固型涂料，在加温条件下会影响其化学稳定性，喷涂设备条件要求苛刻，所以不适宜采用热喷涂。

（2）选择适宜的加热温度　一般热喷涂采用的加热温度为70～75℃，但各种涂料的温度粘度特性不一样，最好事先测定温度粘度特性曲线，有助于准确地选择加热温度。

（3）注意热喷涂设备的维护与管理　涂料加热器必须安装防爆装置。采用循环方式供给涂料时，应低速循环，以免涂料中所含颜填料损坏压送泵。谨防压送泵电动机产生火花引起火灾。经常检查温度控制机构的可靠性，以防温度过高引起事故。

# 5.4　高压无气喷涂

### 5.4.1　无气喷涂工艺条件有哪些?

无气喷涂适应各种涂料，但在喷涂之前，应根据各种涂料的特性与涂装要求，除选择合适的无气喷涂设备外，最关键的是合理选择涂料喷嘴口径、涂料压力等喷涂工艺条件。通常喷涂漆膜较薄的涂料，应选择口径小的喷嘴；喷涂漆膜较厚的涂料，应选择口径大的喷嘴。被涂物小应选择喷雾图形幅宽小的喷嘴；被涂物大应选择喷雾图形幅宽大的喷嘴。常用涂料无气喷涂工艺条件见表 5-7。

表 5-7　常用涂料无气喷涂工艺条件

| 涂料品种 | 喷嘴等效口径/mm | 涂料喷出量/(L/min) | 喷雾图形幅宽/mm | 涂料粘度(福特杯-4)/s | 涂料压力/MPa |
|---|---|---|---|---|---|
| 磷化底漆 | 0.28~0.38 | 0.42~0.80 | 200~360 | 10~20 | 8~12 |
| 油性红丹底漆 | 0.33~0.43 | 0.61~1.02 | 200~360 | 30~90 | 11 以上 |
| 胺固化环氧树脂富锌底漆 | 0.43~0.48 | 1.02~1.29 | 250~410 | 12~15 | 10~14 |
| 烷基硅酸盐富锌底漆 | 0.43~0.48 | 1.02~1.29 | 250~410 | 10~12 | 10~14 |
| 烷基硅酸盐厚膜富锌底漆 | 0.43~0.48 | 1.02~1.29 | 250~410 | 12~15 | 10~14 |
| 云母氧化铁酚醛树脂漆 | 0.43~0.48 | 1.02~1.29 | 250~410 | 30~70 | 10~14 |
| 丙烯酸改性醇酸树脂漆 | 0.33~0.38 | 0.61~0.80 | 200~310 | 30~80 | 10~14 |
| 长油醇酸树脂面漆 | 0.33~0.38 | 0.61~0.80 | 200~310 | 30~80 | 12~14 |
| 厚膜乙烯树脂漆 | 0.38~0.48 | 0.80~1.29 | 250~360 |  | 12~15 |
| 聚氨酯树脂面漆 | 0.33~0.38 | 0.61~0.80 | 250~310 | 30~50 | 11~15 |
| 氯化橡胶底漆 | 0.33~0.38 | 0.61~0.80 | 250~360 | 30~70 | 12~15 |
| 氯化橡胶面漆 | 0.33~0.38 | 0.61~0.80 | 250~360 | 30~70 | 12~15 |
| 聚酰胺固化环氧树脂底漆 | 0.38~0.43 | 0.80~1.02 | 250~360 | 50~90 | 12~15 |
| 聚酰胺固化环氧树脂面漆 | 0.33~0.38 | 0.61~0.80 | 250~360 | 30~50 | 12~15 |
| 胺固化煤焦油沥青环氧树脂漆 | 0.48~0.64 | 1.29~2.27 | 310~360 |  | 12~18 |
| 异氰酸固化煤焦油沥青环氧树脂漆 | 0.48~0.64 | 1.29~2.27 | 310~360 |  | 12~18 |

1. 涂料喷嘴的选择

涂料喷嘴的选择根据是涂料喷出量和喷雾图形幅宽。设备生产厂对于出厂的涂料喷嘴有推荐的涂料喷出量和喷雾图形幅宽，称为标准喷出量和标准喷雾图形幅宽，这些数据是在特定的涂料粘度、喷涂距离等条件下测得的，只能作为选用的参考。要准确选用喷嘴，还要通过试验确定。

（1）根据涂料喷出量选择　设备生产厂对出厂的涂料喷嘴，推荐介绍的涂料喷出量是在特定喷涂条件下测试的结果，通常称为标准喷出量。喷嘴口径与涂料喷出量的关系见表 5-8，表中编号 Z 后二位数表示喷嘴口径，A 栏所列涂料喷出量是涂料粘度为

$750\times10^{-3}$Pa·s、密度为1g/cm$^3$、涂料压力为11MPa条件下的喷出量；B栏所列涂料喷出量是粘度为$5600\times10^{-3}$Pa·s的喷出量，涂料粘度对涂料喷出量有一定影响，但粘度在（40~1000）$\times10^{-3}$Pa·s范围内的影响不明显，只是粘度比较高时，对涂料喷出量的影响明显。因此一般涂料可按照A栏所列涂料喷出量选用喷嘴口径，粘度特别高时，如汽车车身隔音涂料，可按B栏所列涂料喷出量选用喷嘴口径。要准确地选用喷嘴，最好按照所采用的涂料通过喷涂试验确定口径。

**表5-8 涂料喷嘴口径与涂料喷出量①**

| 涂料喷嘴编号③ | 等效口径/mm | 涂料喷出量②/(L/min) | | 涂料喷嘴编号③ | 等效口径/mm | 涂料喷出量②/(L/min) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | | | A | B |
| 163-Z07 | 0.18 | 0.15 | | 163-Z33 | 0.84 | 3.98 | 1.40 |
| 163-Z09 | 0.23 | 0.27 | | 163-Z35 | 0.89 | 4.50 | 1.70 |
| 163-Z11 | 0.28 | 0.42 | | 163-Z37 | 0.94 | 5.00 | 2.10 |
| 163-Z13 | 0.33 | 0.61 | | 163-Z39 | 0.99 | 5.60 | 2.50 |
| 163-Z15 | 0.38 | 0.80 | | 163-Z41 | 1.04 | 6.20 | 3.00 |
| 163-Z17 | 0.43 | 1.02 | | 163-Z43 | 1.09 | 6.80 | 3.60 |
| 163-Z19 | 0.48 | 1.29 | | 163-Z45 | 1.14 | 7.50 | 4.40 |
| 163-Z21 | 0.53 | 1.59 | | 163-Z47 | 1.20 | 8.15 | 5.10 |
| 163-Z23 | 0.59 | 1.89 | | 163-Z49 | 1.25 | 8.85 | 6.00 |
| 163-Z25 | 0.64 | 2.27 | | 163-Z51 | 1.30 | 9.70 | 7.20 |
| 163-Z27 | 0.69 | 2.65 | | 163-Z53 | 1.35 | 10.35 | 8.00 |
| 163-Z29 | 0.74 | 3.07 | 0.90 | 163-Z55 | 1.40 | 11.30 | 9.30 |
| 163-Z31 | 0.79 | 3.52 | 1.10 | | | | |

① 摘自美国格雷科公司。

② 喷嘴生产厂推荐的涂料喷出量也称为标准喷出量。

③ Z表示喷雾图形幅宽的编号。

（2）根据喷雾图形幅宽选择　无气喷涂与空气喷涂不同，调整喷雾图形幅宽通常必须更换涂料喷嘴。涂料喷嘴编号与喷雾图形幅宽的对应关系见表5-9，表中××前一位数是喷雾图形幅宽的编号，所列喷雾图形幅宽是制造厂在特定的喷涂距离，即喷涂距离为300mm喷涂时的喷雾图形幅宽，称为标准喷雾图形幅宽。

**表5-9 涂料喷嘴编号与喷雾图形幅宽①**

| 涂料喷嘴编号 | 喷雾图形幅宽/mm | 涂料喷嘴编号 | 喷雾图形幅宽/mm |
|---|---|---|---|
| 163-1××② | 50~100 | 163-6×× | 310~360 |
| 163-2×× | 100~150 | 163-7×× | 360~410 |
| 163-3×× | 150~200 | 163-8×× | 410~460 |
| 163-4×× | 200~250 | 163-9×× | 460~510 |
| 163-5×× | 250~310 | | |

① 摘自美国格雷科公司。

② ××表示喷嘴的等效口径（1/1000in）。

喷雾图形幅宽受涂料品种的影响，即喷涂距离会因涂料品种的不同而有所变化，喷涂距离的改变自然会导致喷雾图形幅宽的改变，这种情况在实际喷涂作业时是经常会发生的，即实际喷涂作业时的喷雾图形幅宽，常常会与喷嘴的标准喷雾图形幅宽不一致。因此，标准喷雾图形幅宽只能作为选择喷嘴的参考。

2. 实际涂料喷出量

标准的涂料喷出量往往与实际的涂料喷出量有差异，主要与涂料密度和涂料压力有关。通常可根据涂料密度与压力计算实际涂料喷出量。涂料密度对涂料喷出量的影响可按下式计算

$$Q=\frac{q_0}{s^{1/2}}$$

式中 $Q$——实际涂料喷出量；

$q_0$——标准涂料喷出量；

$s$——涂料密度。

涂料压力对涂料喷出量的影响可按下式计算

$$Q=q_0\left(\frac{p}{p_0}\right)^{1/2}$$

式中 $Q$——实际涂料喷出量；

$q_0$——标准涂料喷出量；

$p$——实际涂料压力；

$p_0$——标准涂料喷出量的喷涂压力。

### 5.4.2 如何计算无气喷涂的喷涂效率？

无气喷涂设备的喷涂效率是指喷枪在单位时间内的涂料喷出量，按照一定的涂膜厚度所获得的涂膜面积。喷涂效率与喷雾图形的幅宽、涂料喷出量等主要工艺条件关系密切。涂料喷嘴每分钟涂料喷出量 $q$ 与喷嘴口径 $d$、涂料压力 $p$ 和涂料密度 $s$ 有如下关系：

$$q=Kd^2\left(\frac{p}{s}\right)^{1/2}$$

式中 $K$——比例常数。

### 5.4.3 常用涂料的高压无气喷涂工艺条件有哪些？

常用涂料的高压无气喷涂工艺条件见表 5-10。

**表 5-10 常用涂料的高压无气喷涂工艺条件**

| 涂料品种 | 喷嘴等效口径/mm | 涂料喷出量/(L/min) | 喷雾图形幅宽/mm | 涂料粘度(福特杯－4)/s | 涂料压力/MPa |
|---|---|---|---|---|---|
| 磷化底漆 | 0. 28 ~0. 38 | 0. 42 ~0. 80 | 200 ~360 | 10 ~20 | 8 ~12 |
| 油性红丹底漆 | 0. 33 ~0. 43 | 0. 61 ~1. 02 | 200 ~360 | 30 ~90 | 11 以上 |
| 胺固化环氧树脂富锌底漆 | 0. 43 ~0. 48 | 1. 02 ~1. 29 | 250 ~410 | 12 ~15 | 10 ~14 |
| 烷基硅酸盐富锌底漆 | 0. 43 ~0. 48 | 1. 02 ~1. 29 | 250 ~410 | 10 ~12 | 10 ~14 |
| 烷基硅酸盐厚膜富锌底漆 | 0. 43 ~0. 48 | 1. 02 ~1. 29 | 250 ~410 | 12 ~15 | 10 ~14 |

（续）

| 涂料品种 | 喷嘴等效口径/mm | 涂料喷出量/（L/min） | 喷雾图形幅宽/mm | 涂料粘度（福特杯-4）/s | 涂料压力/MPa |
|---|---|---|---|---|---|
| 云母氧化铁酚醛树脂漆 | 0.43～0.48 | 1.02～1.29 | 250～410 | 30～70 | 10～14 |
| 丙烯酸改性醇酸树脂漆 | 0.33～0.38 | 0.61～0.80 | 200～310 | 30～80 | 10～14 |
| 长油醇酸树脂面漆 | 0.33～0.38 | 0.61～0.80 | 200～310 | 30～80 | 12～14 |
| 厚膜乙烯树脂漆 | 0.38～0.48 | 0.80～1.29 | 250～360 | | 12～15 |
| 聚氨酯树脂面漆 | 0.33～0.38 | 0.61～0.80 | 250～310 | 30～50 | 11～15 |
| 氯化橡胶底漆 | 0.33～0.38 | 0.61～0.80 | 250～360 | 30～70 | 12～15 |
| 氯化橡胶面漆 | 0.33～0.38 | 0.61～0.80 | 250～360 | 30～70 | 12～15 |
| 聚酰胺固化环氧树脂底漆 | 0.38～0.43 | 0.80～1.02 | 250～360 | 50～90 | 12～15 |
| 聚酰胺固化环氧树脂面漆 | 0.33～0.38 | 0.61～0.80 | 250～360 | 30～50 | 12～15 |
| 胺固化煤焦油沥青环氧树脂漆 | 0.48～0.64 | 1.29～2.27 | 310～360 | | 12～18 |
| 异氰酸固化煤焦油沥青环氧树脂漆 | 0.48～0.64 | 1.29～2.27 | 310～360 | | 12～18 |

## 5.5　静电涂装

### 5.5.1　静电涂装的原理是什么？

静电涂装的原理是在喷枪（或喷盘）与被涂工件之间形成高压静电场，一般工件接地为阳极，喷枪口为阴极，接上负高压，当电场强度足够高时，在阴极产生电晕放电，使空气发生电离，涂料粒子通过喷枪口时就带电，继而与电离的空气结合再次带电，并进一步雾化，然后在高压静电场的作用下，向极性相反的被涂工件运动，吸附于工件表面，形成均匀的涂层。静电涂装原理如图5-18所示。

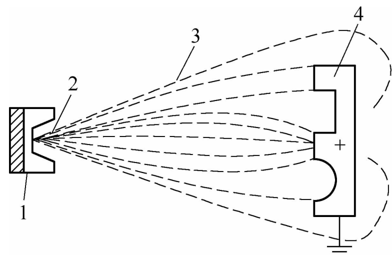



图5-18　静电涂装原理

1—静电喷枪　2—负高压电极

3—电力线　4—被涂工件

静电喷涂与空气喷涂相比，具有如下特点：涂料利用率高，空气喷涂的涂料利用率只有30%～60%，静电涂装减少了涂料飞散，涂料利用率可提高1～2倍；静电涂装适于大批量流水线生产，效率比空气喷涂高1～3倍；涂层均匀、平整、光滑、丰满；显著改善作业环境；坑凹部分由于静电屏蔽形成的涂层较薄，需补喷；对于非导电体工件，必须先进行表面预处理才能静电涂装；静电涂装存在高压火花放电引起火灾的危险，所以对电场强度、枪口与工件的距离必须注意，避免空气层被击穿形成火花；静电涂装对涂料的电性能有一定要求，且易受环境湿度的影响。

### 5.5.2　影响静电涂装的因素有哪些？

（1）静电高压　静电喷涂效率与电压的关系如图5-19所示。电压升高有利于提高

喷涂效率，但是当电压在 60kV 时，喷涂效率可达 80% 以上，再升高电压，效果不明显。高电压有利于涂料粒子带电，但也要考虑安全因素，防止击穿，一般电压控制在 90kV 左右。

（2）旋杯或旋盘的转速　在旋杯或旋盘式静电喷涂系统中，涂料的初期雾化程度主要靠高速旋转离心力的作用，进而在高压电场中进一步雾化，吸附到被涂物表面。与此同时涂料粒子在自身重力作用下要沉降，雾化粒子越细，沉降速度越小，而旋杯或旋盘转速越高，越有利于雾化。但转速过高对涂料粒子在电晕区充分荷电不利。因此要根据旋杯或旋盘的大小、电场强度、涂料的介电常数等确定合适的转速。

（3）喷枪与工件之间的距离　一般 1cm 间隔的空气能承载 10kV 电场作用，所以从理论上来说，如果电场强度为 90kV，极间距至少为 9cm，低于此值就有极间击穿，实际应用时必须取 3 倍的安全距离，一般喷涂距离为 30 ~ 35cm 为宜，距离过远会显著影响喷涂效率。喷涂距离与喷涂效率的关系如图 5-20 所示。

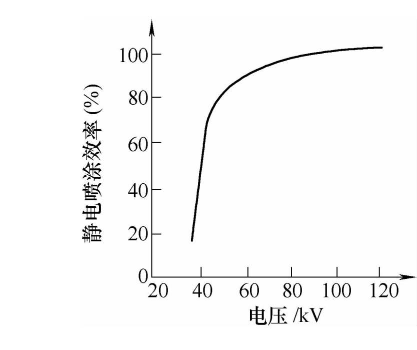



图 5-19　静电喷涂效率与电压的关系

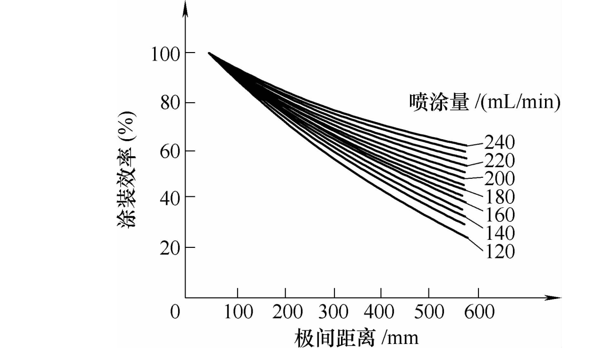



图 5-20　喷涂距离与喷涂效率的关系

（4）涂料粘度　涂料粘度越高，雾化性能越差。增加涂料的固体含量会增加涂料粘度，但是涂层丰满光泽好，为此一般采用提高喷涂温度的方法解决这个矛盾，为此可使用 30 ~ 40℃ 的恒温漆房。

（5）涂料的电性能　涂料粒子在电场中荷电荷的能力与涂料的电性能有关，其中最主要的参数为介电常数。普通涂料的介电常数很低，阻抗一般大于 100MΩ。为了适应静电涂装，必须用介电常数较大的溶剂或专用静电稀释剂将阻抗调整到 5 ~ 50MΩ，同时必须兼顾涂料的流平性，加入某些高沸点的溶剂，以控制溶剂的挥发速度。静电涂装常用溶剂的特性见表 5-11。

**表 5-11　静电喷涂常用溶剂特性**

| 类别 | 溶剂名称 | 电阻率/MΩ · m | 介电常数 | 沸点/℃ | 闪点/℃ | 表面张力/($\times 10^{-3}$N/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 醇类 | 甲醇 | 0.62 | 32.1 | 64.5 | 12 | 22.6 |
| | 正丁醇 | 1.4 | 17.4 | 117.3 | 37 | 24.8 |
| | 乙醇 | 1.9 | 24.3 | 78.3 | 14 | 22.3 |

（续）

| 类别 | 溶剂名称 | 电阻率/MΩ·m | 介电常数 | 沸点/℃ | 闪点/℃ | 表面张力/（$\times10^{-3}$N/m） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 醇类 | 二丙酮醇 | 2.8 | 27.5 | 169.2 | 60 | 31.4 |
| | 苯甲醇 | 3.2 | 14.5 | 205.0 | 96 | |
| | 异丙醇 | 20 | 20.4 | 82.3 | 12 | 23.8 |
| 酮类 | 甲乙酮（MEK） | 7.7 | 19.5 | 79.6 | -5 | |
| | 异佛尔酮 | 18 | 20.5 | 215.2 | 92 | |
| | 甲基异丁基酮（MIBK） | 21 | 14.1 | 116.0 | 16 | 24.2 |
| | 环己酮 | 39 | 18.2 | 156.7 | 47 | 35.2 |
| 酯类 | 乙二醇丁醚 | 14 | 9.5 | 171.2 | 61 | |
| | 醋酸丁酯 | 17 | 5.1 | 126.1 | 27 | 25.2 |
| | 乙二醇乙醋酸丁醚 | 70 | 8.0 | 156.3 | 52 | |
| | 乙二醇乙醚 | 85 | 14.7 | 135.1 | 43 | |
| 芳香类 | 甲苯 | $2.8\times10^{3}$ | 2.4 | 109.9~110.4 | 5 | 28.5 |
| | 二甲苯 | $1.8\times10^{4}$ | 2.4 | 138.2~139.9 | 27 | 23.8 |

（6）喷枪的布置　旋杯式静电喷涂的喷雾图形是中空圆环，为解决厚度不均问题，一般可配置多支喷枪，喷枪之间保持适当的间距，使它们的喷雾图形互相重叠，而获得均匀的涂层。

旋杯式静电涂装，其喷雾轨迹是中空状圆环，在工件形成涂层的截面分布情况如图5-21所示。为解决中控厚度不均问题，根据工件的具体条件，一般可配置多支喷枪加以解决，使它们的喷涂轨迹互相重叠，而获得厚度均匀的涂层，在此情况下，必须使枪与枪之间保持适当间距，一般可掌握它们的间距至少保持该喷枪喷幅宽度的1.5倍以上，如喷幅为400mm的喷枪，则喷枪间距至少为600mm，多喷枪布置示例如图5-22所示。

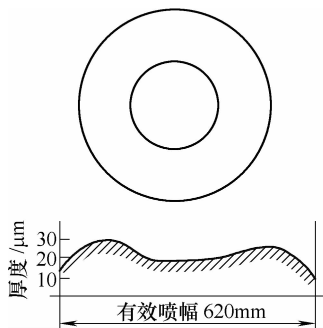



图5-21　静电涂装喷雾轨迹及厚度分布状况

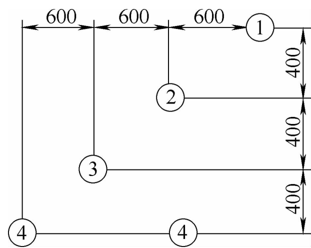



图5-22　多喷枪布置示例

①，②，③，④—静电喷枪

（7）极针的配置　漆雾有可能被喷枪枪身及支架、操作者吸附，降低喷涂效率，这就是所谓的“反漆”现象。为了抑制“反漆”现象，通常在枪口的适当位置配置极针，极针同样带有负高压，与带负电的涂料粒子相互排斥，阻止了漆雾向反方向飞散。极针配置对喷雾轨迹的影响（正视）如图 5-23 所示。

（8）喷杯的口径　涂料粒子半径 $r$ 与喷杯口径的关系如下

$$r = \frac{1}{RE}\sqrt{\frac{KW_c\sigma}{2\pi\varepsilon}}$$

$$K = \frac{3\sin^2\beta\log\cot\dfrac{\beta}{2}\times 10^{-5}}{\cos\beta}$$

式中　$r$——旋杯半径；

$E$——电场强度；

$\sigma$——涂料的表面张力；

$\varepsilon$——涂料的介电常数；

$\beta$——旋杯锥面与水平面的交角（见图 5-24）；

$W_c$——总喷涂量。

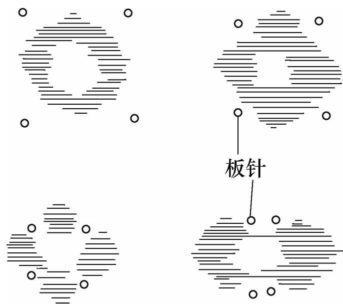



图 5-23　极针配置对喷雾轨迹的影响（正视）

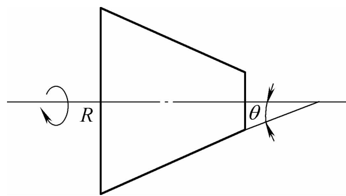



图 5-24　旋杯解析图

由上式可见旋杯的半径愈大，则涂料粒子愈细，但随之中空区也就愈大，因此应根据实际情况，确定合适的旋杯口径。

（9）喷涂量　从上式可以看出，喷涂量愈小愈有利于雾化涂料粒子的微粒化，两者的关系如图 5-25 所示。一般要求在确保涂装质量和喷涂效率的前提下，来选择极限的喷涂量。

（10）工件的悬挂　工件悬挂是否合理，对喷涂效率影响很大，工件之间的间隔应尽量缩短，以互相不碰撞为原则。工件离地面、传送链及喷房内缘的距离应保持 1m 以上，否则会影响涂料在工件上的吸附。在挂钩处由于涂料的堆积，经烘烤后形成阻抗很高的绝缘层会显著降低喷涂效率，挂钩涂层绝缘阻抗如图 5-26 所示。另一方面由于表面电荷在挂钩处的大量积聚，还会引起对操作者电击的危险，所以必须定期清除挂钩上附着的涂料，最好每天施工完毕即进行清理，以保证挂钩的良好接地。

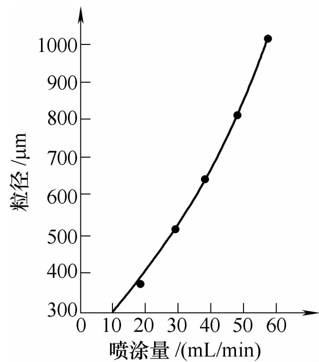



图 5-25　喷涂量与涂料粒径的关系

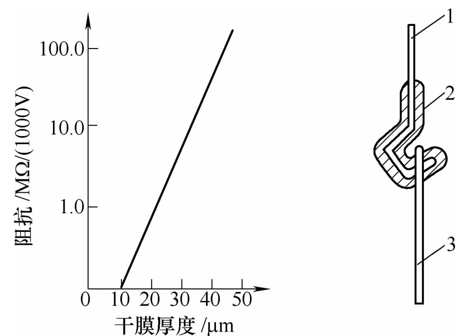



图 5-26　挂钩涂层绝缘阻抗

1—挂钩　2—附着涂层　3—工件吊具

上述诸多因素并不是互相孤立的，往往是互相制约的，必须综合考虑，此外，涂料的表面张力，涂料的输送方式等对喷涂效果也有影响。

### 5.5.3　旋杯静电喷涂工艺是什么？

旋杯静电喷涂工艺参数见表 5-12。

**表 5-12　旋杯静电喷涂工艺参数**

| 项　　目 | 参　　数 | 项　　目 | 参　　数 |
|---|---|---|---|
| 工作电压 | 60 ~90 | 旋杯转速/（r/min） | 1000 ~30000 |
| 工作电流/μA | ≤250 | 喷枪与工件间距/mm | 250 ~300 |
| 涂料电阻率/MΩ · cm | 5 ~50 | 两枝喷枪间距/m | ≥1 |
| 喷涂量/（mL/min） | 30 ~200 | 工件传送速度/（m/min） | 1 ~2. 5 |

### 5.5.4　粉末静电涂装工艺是什么？

粉末静电涂装工艺流程为：预处理→粉末静电涂装→熔融流平→交联固化→冷却→检验。其工艺参数见表 5-13。

**表 5-13　粉末静电涂装工艺参数**

| 参　　数 | 取值范围 | 参　　数 | 取值范围 |
|---|---|---|---|
| 静电电压/kV | 60 ~90 | 喷枪口与工件距离/mm | 150 ~300 |
| 静电电流/μA | 10 ~20 | 悬挂链速率/（m/min） | 4. 7 ~5. 5 |
| 流速压力/MPa | 0. 30 ~0. 55 | 喷粉量/（g/min） | 70 ~1000 |
| 雾化压力/MPa | 0. 30 ~0. 45 | 粉末粒度/目 | 80 ~200 |
| 供气压力/MPa | 0. 70 | 粉末电阻率/Ω · cm | 108 ~1015 |
| 文丘里管喉径/mm | ≤8 | | |

### 5.5.5　高压静电粉末喷涂与摩擦静电粉末喷涂方法有何异同？

高压静电粉末喷涂与摩擦静电粉末喷涂方法的比较见表 5-14。

表 5-14　高压静电粉末喷涂与摩擦静电粉末喷涂方法的比较

| 项　目 | 电晕放电式 | | 摩擦荷电式 |
|---|---|---|---|
| | 外部荷电式 | 内部荷电式 | |
| 涂装效率 | 很好 | 良好 | 良好 |
| 凹部涂装效果 | 一般 | 很好 | 很好 |
| 平面涂装效果 | 很好 | 良好 | 很好 |
| 涂膜外观 | 良好 | 很好 | 很好 |
| 涂料适应性 | 很好 | 很好 | 一般 |
| 使用安全性 | 良好 | 良好 | 很好 |

## 5.6　电泳涂装

### 5.6.1　电泳涂装的工艺流程包括哪些?

电泳涂装的工艺流程为：上件→预脱脂→脱脂→水洗→热水洗→表面调整→磷化→水洗→去离子水洗→热风烘干→电泳沉积→超滤循环水洗→烘烤成膜→冷却→涂装面漆。

### 5.6.2　影响电泳涂装的因素有哪些?

（1）电泳电压　电泳电压主要由电泳树脂本身的结构特性决定，一般有使用的电压范围，在此范围内，随电泳电压的增高涂层厚度增加。但电泳电压一旦超过涂层的击穿电压，涂层被击穿，会造成涂层粗糙、桔皮等缺陷。电泳电压还与槽液的固体含量、温度、电导率、极间距等有关，所以应根据实际情况调整。电泳电压与涂层厚度的关系如图 5-27 所示。

（2）电泳时间　电泳电流与时间的关系如图 5-28 所示。电泳涂装的开始阶段，工件裸露，它与槽液之间的电位差很高，电极反应剧烈，电流急剧增加。当涂层逐渐在工件上沉积时，电阻增大，导致涂层上的电位降增大，涂层与槽液之间的电位降减小，电极反应趋于缓和，电流逐渐下降。从涂层厚度的增长情况来看，初期增长较快，然后增速降低，一般 2min 后涂层厚度趋于饱和，所以电泳时间通常在 2～3min。

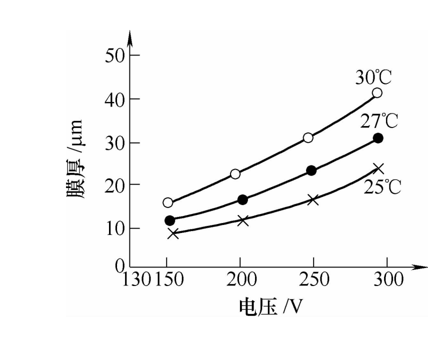



图 5-27　电泳电压与涂膜厚度的关系

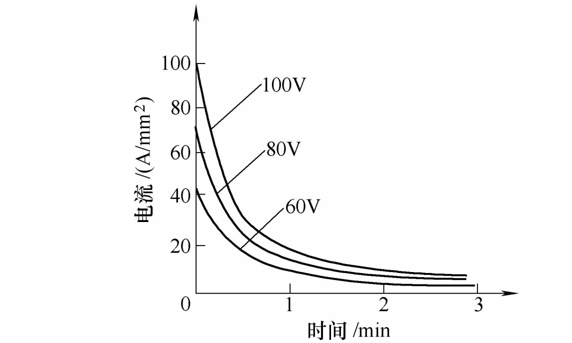



图 5-28　电泳电流与时间的关系

（3）槽液固体含量　电泳槽液的固体含量是电泳涂装的一个重要工艺参数。一般用低固体含量的电泳液具有工件带出损失的电泳液较少、电渗性较高、水洗用水量少等优点。固体含量过低或过高，均会造成涂层外观质量差，缺陷多。一般阳极电泳液的固体含量在10%～15%（体积分数）之间，阴极电泳液的固体含量在18%～20%（体积分数）之间。

（4）pH值　电泳液的pH值是确保电泳树脂水溶性，获得高质量涂层的重要参数。一般阳极电泳液的pH值控制在8～9之间。pH值过低影响树脂水溶性；pH值过高，会使水的电解加剧，气泡析出较多，导致泳透力下降，涂层外观差。pH值应控制在合适的范围内，目前维持pH值稳定最好的方法是采用电泳超滤技术。目前阴极电泳液的pH值可达6以上，减轻了对设备的腐蚀。

（5）电泳温度　在其他条件固定的情况下，随电泳温度的提高，电泳树脂粒子的运动速度增加，电沉积速度提高，涂层厚度增加，泳透力下降，而且水的电解过程也加剧，气泡量增多，造成涂层缺陷。一般电泳温度控制在20～30℃为宜。电泳温度与涂膜厚度的关系如图5-29所示。

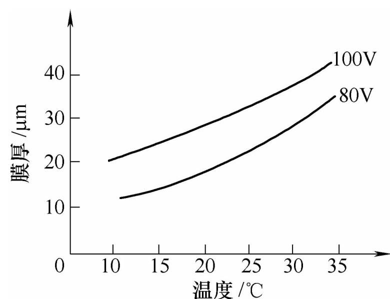



图5-29　电泳温度对涂膜厚度的关系

（6）电导率　电泳液的电导率取决于电泳液的固体含量、pH值和温度。但在电泳涂装过程中，预处理工序中带来的杂质离子会污染电泳液，使电导率增大，引起电压下降、泳透力降低、涂层粗糙等。因此加强预处理后的水洗，特别是去离子水洗十分重要。对进入电泳液的杂质离子可用超滤技术去除。

（7）极间距　极间距越小，电泳液的电位梯度越大，如果被涂工件形状复杂，则表面的电位差别较大，会造成涂层不均。若极间距过大，要获得同等的电泳电流就需要更高的电压，并造成电泳槽增大。所以极间距必须适当，一般在100～800mm之间。

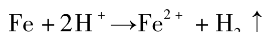
电泳参数的确定是为了保证电泳涂装的质量，必须对电泳液进行严格管理，一般要定期对电泳液的固体含量、颜基比、pH值、电导率、泳透力和涂层的厚度、力学性能及耐蚀性进行测定，在此基础上对各参数进行调整。

## 5.7　自泳涂装

### 5.7.1　自泳涂装的原理是什么？

自泳涂装体系是由水基乳液基料、颜料、氧化剂、活化剂及酸性添加剂等组成，以水为分散介质，形成水包油型胶体乳液，它是一种高度分散体系，相界面很大，从热力学角度看，它是一种绝对不稳定体系，但由于体系中存在可降低胶粒表面自由能的表面活性剂，使体系处于相对稳定的乳液状态。自泳涂装的原理是在被涂金属与乳液界面区域创造一定的条件使界面乳液脱稳，从而使乳胶粒和颜料沉积于金属表面，具体的沉积过程如下：

（1）酸蚀　经脱脂除锈的钢铁件浸入带酸性的自泳液中，钢铁表面经酸性侵蚀，在界面形成 $Fe^{2+}$ 离子，即



$$Fe + 2H^{+} \rightarrow Fe^{2+} + H_2\uparrow$$

（2）氧化　界面中 $Fe^{2+}$ 离子被体系中的氧化剂氧化成 $Fe^{3+}$ 离子，如：$Fe^{2+} + H_2O_2 + H^{+} \rightarrow Fe^{3+} + 2H_2O$。

（3）破乳　随着上述酸蚀、氧化过程的不断进行，金属与乳液界面区域的 $Fe^{3+}$ 离子浓度不断升高，当 $Fe^{3+}$ 的浓度超过乳液的临界电解质浓度时，该区域中的乳胶粒子失去稳定性而产生破乳凝聚作用。

（4）自沉积　界面区域乳胶粒子经 $Fe^{3+}$ 破乳凝聚并沉积于金属表面，由于此形成的湿膜是多孔性的，酸对金属表面的侵蚀继续进行，产生 $Fe^{3+}$ 离子透过湿膜，进一步导致乳胶沉积，从而使湿膜增厚，形成一定厚度的自沉积涂层，湿膜经后处理、清洗与烘烤即固化为自泳涂层。

### 5.7.2　自泳涂装工艺包括哪些？

目前自泳涂料主要有丙烯酸系与偏氯乙烯系两大系列，工艺过程略有差异。

1. 丙烯酸系自泳涂装工艺

为提高丙烯酸自泳涂层的耐蚀性，自泳沉积后，湿膜需经铬酸盐后处理，其涂层的最终成膜温度为 170℃左右，由于自泳湿膜中含水量较高，直接在 170℃烘烤，会产生气泡、针孔等缺陷，故必须将湿膜分二段烘烤，先经 110℃烘烤使水分充分挥发后，再升温至 170℃固化成膜，流程如下：

工件脱脂（60℃，浸喷 2min）→水洗（常温，浸 1min）→酸洗（50～70℃，浸 2～8min）→二道水洗（常温，浸喷 0.5min）→去离子水洗（常温，浸 0.5min）→自泳沉积（20～30℃，1.5～2.5min）→沥干（1～1.5min）→水洗（40～450℃，浸 0.5～1min）→铬液后处理（常温，浸 0.5～1min）→第一段烘烤（110℃，10～15min）→第二段烘烤（170℃，15min）→冷却下线

2. 偏氯乙烯系自泳涂装工艺

偏氯乙烯自泳涂装预处理基本与丙烯酸系一致，所不同的是偏氯乙烯自泳涂层不经铬酸盐后处理，其耐蚀性较好，故可省略铬液后处理工序，另外偏氯乙烯自泳涂层成膜温度在 110℃左右，因此不需分二段烘烤，流程如下：

工件脱脂（60℃，浸喷 2min）→水洗（常温，浸 1min）→酸洗（50～70℃，浸 2～8min）→二道水洗（常温，浸喷 0.5min）→去离子水洗（常温，浸 0.5min）→自泳沉积（20～30℃，1.5～2.5min）→沥干（1～1.5min）→水洗（40～45℃，浸 0.5～1min）→烘烤（110～120℃，20～25min）。

### 5.7.3　自泳槽液工艺及参数应如何控制？

影响自泳沉积的工艺参数主要有：固体含量、pH 值、$Fe^{3+}$ 含量、氧化还原电位及沉积时间和温度等，工艺参数见表 5-15。

以下以丙烯酸系自泳涂装为例说明各参数的影响。

（1）自泳槽液固体含量　自泳沉积膜厚随固体含量升高而增加如图 5-30 所示，$C_3$（固体含量）太低时（≤4%），自泳沉积所得的湿膜及干膜附着力均较差，而 $C_3$（固

体含量）太高时（>14%），自沉积涂层的外观会略显粗糙，合适的 $C_3$（固体含量）为（12±2）%。

**表 5-15　自泳沉积工艺参数**

| 项　　目 | 丙烯酸系 | 偏氯乙烯系 | 项　　目 | 丙烯酸系 | 偏氯乙烯系 |
|---|---|---|---|---|---|
| 固体含量(质量分数,%) | 12±2 | 8±2 | 槽液温度/℃ | 15~30 | 15~30 |
| pH 值 | 3.0±0.5 | 3.0±0.5 | 自泳沉积时间/s | 90~180 | 90~180 |
| $Fe^{3+}$/(g/L) | 1.0~1.5 | 0.8~1.5 | 烘烤温度/℃ | 110(10~15) | 110~120 |
| 氧化还原电位/mV | 280~350 | 280~350 | (烘烤时间/min) | 170(15) | (20~25) |

（2）槽液 pH 值　由于自泳沉积过程取决于槽液对金属的酸蚀速率，因此槽液的 pH 值直接影响自沉积涂层厚度。pH 值对自沉积膜厚的影响如图 5-31 所示，由图可见当 pH 不大于 3.5 时，槽液的酸度变化对自沉积膜厚影响不大，此时的成膜速率主要由产生的铁离子在湿膜中的扩散速率控制。当 pH 值高于 3.5 时，由于槽液的酸度降低，产生的铁离子的量下降，导致乳液脱稳，成膜速率降低，膜厚下降。槽液合适的 pH 值范围为 2.5~3.5。

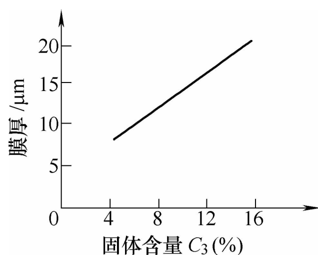



图 5-30　固体含量与膜厚关系

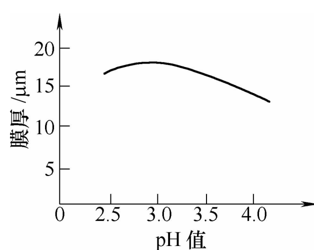



图 5-31　pH 值对自沉积膜厚的影响

（3）槽液中 $Fe^{3+}$ 浓度　槽液中 $Fe^{3+}$ 离子作为一种活化剂和乳液脱稳促进剂，可起到加速自泳沉积过程的作用，因此随着槽液中 $Fe^{3+}$ 的含量增高，自泳沉积膜厚相应增加，如图 5-32 所示。但当 $Fe^{3+}$ 的质量浓度超过 2.4g/L 时，自泳沉积湿膜的附着力降低，这是因为沉积速率太快引起湿膜包裹的水分增多的缘故。另外，$Fe^{3+}$ 含量过高，也会使自泳体系的稳定性降低。为保持槽液适当的自泳活性、槽液稳定性及自沉积涂膜的性能，$Fe^{3+}$ 的含量应保持在 1.0~1.5g/L 为宜。

（4）氧化还原电位　自泳沉积过程是首先由酸性槽液侵蚀钢材表面产生 $Fe^{2+}$ 离子，再由槽液中的氧化剂将 $Fe^{2+}$ 氧化成 $Fe^{3+}$，控制一定的 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 氧化还原电位，在自泳涂装中是一个重要的参数。实践结果表明，氧化还原电位对自泳沉积膜厚无明显影响，但对涂膜质量影响十分明显。氧化还原电位对膜厚的影响如图 5-33 所示。当氧化还原电位不大于 170mV 时，槽液中氧化剂不足，此时受侵蚀钢材界面的 $H^+$ 会形成氢气逸出，导致自泳沉积涂膜产生气泡和针孔，而显著降低自沉积涂膜的耐蚀性。因此槽液中的氧化剂应保持一定浓度，使体系氧化还原电位控制在 290~350mV 之间。

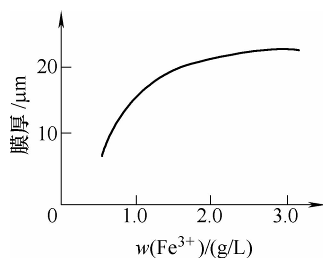



图 5-32　$Fe^{3+}$ 对膜厚的影响

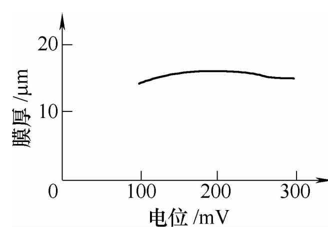



图 5-33　氧化还原电位对膜厚的影响

（5）自泳时间　自泳沉积涂膜厚度随自泳时间和延长而增加，其影响如图 5-34 所示。可以根据自泳体系的活性、$Fe^{3+}$ 的含量及槽液温度等工艺参数来选定合适的自泳时间，一般可控制在 90～180s 之间。

（6）自泳温度　槽液的温度直接影响酸蚀钢材的速度和 $Fe^{2+}$ 在湿膜中的扩散速度，从而影响自沉积速率及涂膜厚度，其影响如图 5-35 所示。随着槽液温度的提高，自泳成膜速度加快，涂膜厚度增加，一般而言，温度较低时体系成膜活性较低，易获得外观平整光滑的涂膜，而温度过高时，自泳沉积速度过快，涂膜易产生气泡与针孔，且外观较粗糙，因此自泳温度应控制在 15～30℃ 为宜，在冬季温度过低时，可适当补充活化剂，以提高体系活性来弥补。

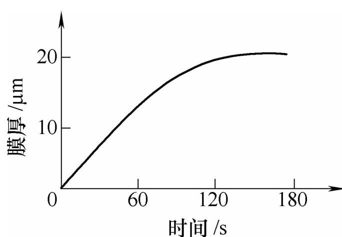



图 5-34　自泳时间的影响

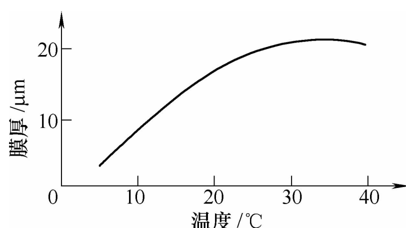



图 5-35　温度对膜厚的影响

（7）烘烤温度　由于自泳沉积涂膜的含水量较高，当湿膜直接在高温烘烤时，易产生气泡与针孔而影响涂膜的耐蚀性。实践证明，丙烯酸自泳体系采用两段烘烤可获得满意的结果，第一段烘烤温度为 110～120℃，时间 10～15min，使湿膜中水分充分挥发。第二段烘烤温度为 170℃，时间 15min，使涂膜中的活性基团反应提高交联度，从而提高涂膜的耐蚀性。偏氯乙烯自泳涂膜成膜温度较低，在 110～120℃，一次烘烤 20～25min 即可。

## 5.8　粉末涂装

### 5.8.1　熔射法的原理是什么？

熔射法的原理是粉末涂料在压缩空气作用下从熔射机的喷嘴喷出，高速通过喷嘴外围吹出氧气和液化气等燃料形成的火焰，粉末涂料在火焰作用下熔化并附着在被涂物表

面，冷却成膜。熔射法适用于整件烘烤有困难的大型工件，所用树脂的熔融温度和分解温度差别较大。因其涂装质量较差，涂料温度不易控制，所以应用较少。

### 5.8.2　流化床涂装法的原理是什么？

粉末流化床热熔敷工艺原理如图5-36所示。

流化床法几乎适应于所有的粉末涂料，用于涂装体积较小、形状简单的被涂物，如家电和电器部件的绝缘层，不适用于热容量小的工件。流化床粉末涂装的原理是净化的压缩空气通入气室，气流均压后通过微孔透气隔板进入流化槽，槽中的粉末涂料在压缩空气的搅动下飘浮起来，形成稳定的流动状态。预热到粉末涂料熔点以上温度的工件浸入流化槽中。接触到热工件的粉末涂料立即粘附、熔融在工件表面，经烘烤形成均匀涂层。

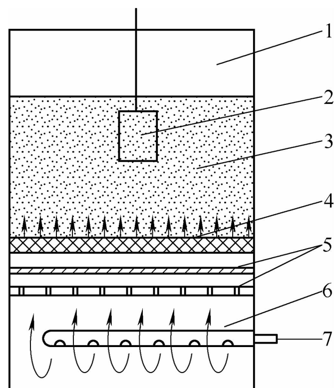



图5-36　粉末流化床热熔敷工艺原理
1—流化床　2—工件　3—粉末流化　4—微孔隔板　5—均压板　6—气室　7—进气管

### 5.8.3　流化床涂装工艺流程包括哪些？

涂装工件应先进行预处理，以去除表面的油脂、杂质、锈蚀等。然后进行预热，预热温度一般高于粉末涂料的熔化温度20～50℃。温度过高会导致涂料中高分子裂解；温度过低，粉末涂料不能完全熔化，流动性差，涂膜不均匀。预热后的工件浸入流化床粉末中，为了避免在涂层中形成气泡，一般要浸两次，第一次1～2s，第二次3～7s。每次浸入后，要抖动和转动工件，以免积粉，使粉末粘附均匀。接着要进一步加热固化，对热固性粉末涂料加热是为了使高分子树脂交联固化，对热塑性粉末涂料加热可使涂层流平。最后涂装的工件还要进行水冷，以增加涂层的柔韧性。

### 5.8.4　流化床涂装的设备有哪些？

流化床涂装的主要设备是流化床，流化床由气室、微孔透气隔板和流化槽组成。气室的作用是将净化的压缩空气分散，经均压板进一步降压后成均匀的上升气流。气室下部有进气管，进气管有莲蓬型结构和盘香型结构两种，气孔开在下方，压缩空气进入气室后碰底板反射向上，达到均化目的。均压板在进气管上部，为两块水平放置的带孔压板，板间距为30～40mm，其作用是进一步使压缩空气均匀和降压。微孔透气隔板是保证粉末涂料在流化床中均匀悬浮流动的关键部件，要求孔径均匀、透气率高、机械强度好。可用环氧粉末、多层帆布或陶瓷等制造，分为多个型号。流化槽是存放粉末和涂敷施工的场所，其形状一般为圆形或方形。

在流化床气室的下方加上振动机构就成了振动流化床，可以使粉末悬浮流化更好，涂膜均匀，还能减少粉末飞扬。

### 5.8.5　静电流化床涂装法的原理是什么？

静电流化床涂装的原理是：在流化床的粉末中放置一个接负高压的电极（负极），一个接地的电极（正极），被涂工件在两电极之间。当负极接上负高压时产生电晕放电，使周围的空气电离产生大量的自由电子。粉末在电极的上下不断运动，捕获电子而

带电，然后被吸附到工件上。最后再经过烘烤、冷却成膜。

静电流化床法结合了粉末静电喷涂法和流化床法的特点，与流化床法比较，被涂物无需预热，在常温下就可吸附粉末，粉末的装入量较少，与粉末静电喷涂法相比，涂装室和回收装置更简单。静电流化床法适用于线材、带材等连续性生产的、形状简单的物件。

### 5.8.6 静电粉末振荡涂装法的原理是什么?

静电粉末振荡涂装法的原理是：在塑料涂装箱内，以接地的被涂物为阳极，在涂装箱的底面或侧面设置阴极电栅，电栅置于粉末涂料中，接上负高压使电栅产生电晕放电，使粉末带电。在外力的作用下，使阴极电栅产生弹性振荡而导致粉末离子由静态变成动态，飘浮起来，在电场作用下吸附于被涂物上。阴极电栅的弹性振荡可采用静电振荡法和机械振荡法。

### 5.8.7 粉末电泳涂装法的原理是什么?

粉末电泳涂装的原理是：将粉末分散在电泳溶液中，吸附电泳树脂粒子，而带上与电泳树脂粒子相同的电荷，称为分散粉末。分散粉末与电泳树脂离子同时在电极析出后，烘烤成膜。

粉末电泳涂装要求粉末与电泳树脂有良好的相容性，现在工业上一般用环氧树脂粉末与环氧类的阴极电泳树脂配合。粉末树脂和颜料不溶于电泳液中。粉末电泳涂装具有涂装效率高、涂膜厚度可调、涂层性能高、粉末可沉降回收等优点，但涂层含有水分，在烘烤时易产生气泡。

### 5.8.8 什么是电磁刷涂装?

电磁刷技术是由一个完整的磁刷台和一个上面粘附待涂材料的磁鼓所组成。当静电场开通时，随着待涂底材通过磁刷，其上被涂以粉末，使底材多次通过磁刷，可获得较厚的涂层。该工艺不适宜用来直接涂装铁磁性底材，但这种底材可通过引入转移步骤来涂装，即用一转移圆鼓使粉末经加热或带静电后再转移到磁性底材上。目前已成功地将聚酯/TGIC 白色粉末涂料，施工于铝箔底材上，而且已将紫外光可固化的粉末涂料应用于卡纸和全色印刷。

### 5.8.9 什么是电场云涂装?

电场云涂装技术是采用空气将粉末涂料吹送到两个垂直方向排列的电极之间，使粉末涂料带电，使通过电极之间的被涂工件吸附着粉末涂料而完成涂装的涂粉过程。该项新技术的带电方式与电晕放电荷电和摩擦荷电不同，是在电场中使粉末带电的方法。其特点是使用低电压，电容量高，均匀施加电压。因此它比静电喷枪的喷涂效率高、涂着粉末致密，可获得薄而平整的优良涂膜表面。

## 5.9 等离子喷涂

### 5.9.1 等离子喷涂的原理是什么?

等离子喷涂是利用等离子火焰来加热熔化喷涂粉末使之形成涂层。等离子喷涂工作气体常用 Ar 或 $N_2$ 再加入 5% ~15% 的 $H_2$。气体进入电极腔的弧状区后，被电弧加热离

解形成等离子体，其中心温度高达15000K以上，经孔道高压压缩后呈高速等离子射流喷出。喷涂粉末被气体载入等离子焰流，很快呈熔化或半熔化状态，并高速喷打在经过粗化的洁净零件表面产生塑性变形，粘附在零件表面，各熔滴之间依靠塑性变形而相互连接，从而获得结合良好的层状致密涂层。由于等离子喷涂火焰温度和速度极高，几乎可以熔化并喷涂任何材料，形成的涂层结合强度较高，孔隙率低且喷涂效率高，故在航空、冶金、机械、机车车辆等部门得到了广泛的应用。

### 5.9.2 等离子喷涂涂层通常应用在哪些方面?

大致来说，等离子喷涂涂层依其主要用途可以分为保护性涂层和功能性涂层两大类。等离子喷涂涂层以前多应用于耐磨、耐蚀、耐高温等领域，近年来新型的功能性涂层如生物涂层、纳米涂层、超导涂层等正受到人们的重视。

（1）耐磨涂层和热障涂层　等离子喷涂涂层的典型应用是耐磨涂层和热障涂层。耐磨涂层如碳化物（$Cr_2C_3$、WC）、氧化物（$Al_2O_3$、$Cr_2O_3$、$TiO_2$）等。热障涂层广泛应用于航空发动机、燃气轮机等高温工作条件下的热屏蔽涂层，其厚度一般小于1mm。热障涂层硬度高、化学稳定性好、可显著降低基材温度，从而提高发动机效率，减少燃油消耗，延长使用寿命。典型热障涂层由金属结合层和陶瓷层组成，在金属层中加入陶瓷，形成多层的由金属底层逐渐向陶瓷工作层过渡的阶梯式梯度涂层。

（2）纳米涂层　等离子喷涂技术作为一个传统的涂层制备手段用于喷涂纳米涂层具有独特的优势，如低成本、高效率、适于工业化生产、所得涂层结合强度高等，不仅可制备致密耐磨的纳米涂层同时也可制备多孔性纳米涂层。例如采用真空等离子喷涂法将由水解合成的50～100nm的$TiO_2$制备成多孔的纳米$TiO_2$薄膜，它由锐钛矿、金红石和$TiO_2$相组成，粒子尺寸在100nm以内，这种纳米薄膜可应用于光催化、净化消毒、气体检测传感等方面。在等离子喷涂纳米材料中有两个问题需要解决，一是如何输送纳米粉末，因为纳米粉末太细小而易粘附于送粉系统内壁上难以顺利到达喷枪的特定区域；二是如何在喷涂处理过程中保持纳米结构。

（3）非晶、准晶涂层　非晶合金具有较高的强度、硬度和优良的耐磨、耐蚀及磁学性能，然而制备大块三维的非晶合金在技术上难度很大。而用等离子喷涂技术将非晶粉末喷涂在廉价的性能较差的金属表面上形成致密的结合强度较高的非晶涂层是一种材料表面非晶化的好办法。等离子喷涂时，熔粒的冷却速度可达$10^5$～$10^6$K/s，这种高速冷却可在涂层中产生非晶态相的组织结构。非晶合金涂层具有致密度高、孔隙率低、氧化物含量少、隔热、阻燃、耐摩擦等特点。

（4）生物活性涂层　生物活性羟基磷灰石（HAP）与生物组织有良好的相容性，可以制成各种关节和牙齿。等离子喷涂HAP粉末在金属基体上，形成生物涂层，既突出了HAP良好的生物活性，又利用了金属材料优秀的力学性能，避免了HAP的脆性和疲劳敏感性的问题。另一类生物涂层材料为生物活性玻璃，这种玻璃植入生物体内可以诱导体液生成磷灰石并沉积在涂层上，这种玻璃可采用等离子喷涂法制备。

### 5.9.3 等离子喷涂设备的发展趋势是什么?

在喷涂工艺设备方面，在普通等离子喷枪的基础上，发展了超声速等离子喷枪和三阴极等离子喷枪等，提高了喷涂粒子的熔化程度、速度；应用低压等离子喷涂和用液料

的等离子喷涂等，可以控制涂层的相结构和晶粒尺寸；而微弧等离子喷涂使等离子喷涂设备向小型化发展。

我国在等离子喷涂设备方面的研制最近取得了很大的进展，装甲兵工程学院最新研制了高效能超音速等离子弧喷涂枪（HEP-Jet），其主要性能优于美国 TAFA 公司生产的高能高速等离子弧喷涂枪和美国 Metco 公司生产的普通等离子弧喷涂枪。中国航空工业第一集团公司北京航空制造工程研究所的 APS-2000 型等离子喷涂设备为该所最新研制的产品，设备总体配置优于美国 Metco 公司的 9M 等离子喷涂设备，总体性能达到国外先进水平。航天科技集团公司 703 所也研制成功一种新型大功率 HT-200 型超音速等离子喷涂设备。

1986 年美国 Browning Eingeering 公司推出了第一台超声速等离子喷枪 Plaz-Jet，随后超声速等离子喷涂的发展主要集中在喷枪射流速度的提高和送粉方式的改良方面。超声速等离子弧喷涂设备中等离子体发生器是其关键部件之一。由喷枪后枪体输入主气（氩气）和大流量的次级气（氮气），经气体旋流环作用，通过拉伐尔管型的二次喷嘴射出。而同时钨极接负极，引弧时一次喷嘴接正极，在主气中经高频引弧，正极接二次喷嘴，即在二次喷嘴内壁间产生电弧，在旋转的次级气强烈作用下，电弧被压缩在喷嘴中心并被拉长至喷嘴外缘，形成弧压高达几百伏的扩展型等离子弧，大功率的扩展弧有效地加热气体，从喷嘴中射出稳定集聚的超声速等离子射流，送入的喷涂粉末被有效地升温加速，撞击工件形成涂层。

超声速等离子弧喷涂中通过气体的旋流稳定作用与收缩作用得到稳定集聚的高热焓、超高速等离子体焰流，其弧压高达 200～400V，电流 400～500A，喷嘴喷射出的等离子射流温度达到 2500℃以上，焰流速度超过 3600m/s，喷涂颗粒速度可达 500m/s 以上。而且工艺参数可通过喷涂功率、工作电压、工作电流、主气（Ar）、次气（$N_2$）的压力和流量、喷涂距离等加以控制。超声速等离子弧喷涂功率高，气流量大，速度极高，具有极高的喷涂效率，而且等离子弧不发散，热焓高，使涂层质量明显优于一般等离子喷涂，而且非常适用于高熔点陶瓷材料的喷涂。超声速等离子喷涂技术采用非转移型等离子弧与高速气流混合时，出现的“扩展弧”得到稳定聚集的超声速等离子焰流。它保留了普通空气等离子喷涂的优点，而且喷涂速度有了显著的提高。

### 5.9.4 喷涂室有什么作用?

喷涂过程中，有部分涂料未喷涂到被涂物上，而成细雾状飞散到空中，而且由于溶剂的挥发，周围空气为溶剂气体所饱和，不仅有害工人身体健康，还有引起火灾的危险，并且影响涂层质量。喷涂室提供了涂装作业的专用操作环境，它由排风系统、过滤和捕集装置、调温调湿装置、照明装置等构成，能满足喷涂作业对环境和安全的要求。

喷涂室的种类和形式很多，分类的方法也多种多样。按涂装作业的工作性质可分为间歇式和连续式生产；按喷涂室内气流方向和抽风方式可分为横向抽风、纵向抽风、底部抽风和上送下抽四种；按对飞散漆雾的处理方式分为干式和湿式两类；按捕雾的原理又可分为过滤式、水帘式、水洗式、水旋式、文丘里式等。

### 5.9.5 干式喷涂室有何特点?

干式喷涂室是采用排风装置将喷涂过程中产生的污染空气（含有漆雾和有机溶剂

蒸气）收集到折流板和过滤器等漆雾处理装置，经折流和过滤的空气可直接排放，漆粒被当做废料处理。由于处理过程中不涉及液态物，故称为干式漆雾处理装置，其喷涂室称为干式喷涂室。这种喷涂室无二次污染，运行费用低，但对漆雾粒子捕捉能力差。干室喷涂室主要由室体、漆雾处理装置和排风装置组成。室体一般为钢结构件；漆雾处理装置主要为折流板和过滤器，折流板一般由金属板和厚纸板构成，过滤材料采用纸纤维、玻璃纤维等；排风装置由排风机和风管组成。常见的干式喷涂室有以下几类。

（1）折流板式喷涂室　折流板一般设在排气孔的前面，当含漆雾的空气通过时，折流板造成空气突然转向，使漆雾粒子冲向折流板并粘附在上面。由于漆雾粒子细小，这种方法捕集效率不高，而且板上的漆雾粒子难清除，所以一般在板上粘一层纸，定期更换。

（2）过滤网式喷涂室　这类喷涂室在排气孔前设置过滤网，收集空气中的漆雾，其效率的好坏取决于过滤网的材质、网孔大小及风速。由于滤网容易堵塞，影响排气，所以需经常更换。蜂窝过滤式喷涂室的漆雾处理装置采用蜂窝形纸质过滤器，其具有空气阻力小、容漆量大、使用周期长等优点。

（3）无捕集装置的特殊型喷涂室　这种喷涂室专用于静电喷涂，因静电喷涂的涂着效率高，漆雾飞散少，几乎不需捕集漆雾，只需处理有机溶剂，一般将排风口设置在喷涂室下部。喷涂室的形状有长形和圆形，后者是专供 Ω 型（旋盘形）静电喷涂设备用的。

### 5.9.6　湿式喷涂室有何特点?

湿式喷涂室是利用水来捕集漆雾的，常用于涂装量大的场合。它一般由室体、排风装置、供水装置及水槽、捕集漆雾的水帘和水洗装置等构成，还备有调温、调湿、空气净化装置。这种喷涂室是通过漆雾粒子与液体的接触来捕捉漆雾，再对含漆雾的污染废水进行处理，所以液体流量的形式及流量的变化直接影响到对漆雾的捕集能力。

（1）水帘式喷涂室　水帘式喷涂室利用流动的帘状水层带走漆雾，水帘一般设在漆雾空气流的正前方，气流冲向水帘时，漆粒冲击水滴而被附着留下。水帘由专用的循环水泵维持，水量可调。这种喷涂室的室壁不易污染，处理漆雾效果好，但废水必须进行再处理，而且空气湿度大，可能影响涂层质量。

（2）水洗式喷涂室　水洗式喷涂室如图 5-37 所示，是通过喷嘴将水雾化喷向含漆雾的气流，利用水粒子的扩散，使水粒子与漆雾粒子相互碰撞、相互凝聚而将漆雾收集到水中。可见水量和水的雾化效果对漆雾的收集效率影响很大。这种喷涂室室壁容易污染，水喷嘴易堵塞，已很少使用，多与水帘式组合使用。

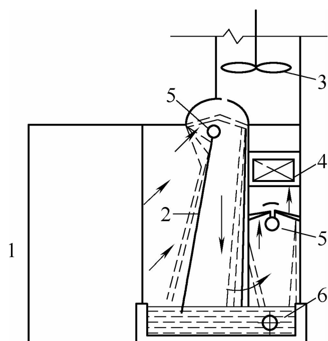


图 5-37　水洗式喷涂室
1—室体　2—淌水板　3—通风机
4—气水分离器　5—喷管
6—水泵吸口

（3）水帘-水洗式喷涂室　水帘-水洗式喷涂室样式很多，可根据漆雾在室中的位置、送风和抽风方式的不同，来调节水帘和水喷嘴的位置和数量及组合方式。其组合原则是尽量增加漆雾的处理时间，漆雾与水粒的接

触时间，以及漆粒被抛向室壁和水面的机会。经水帘和水洗，95%的漆雾可被捕集。将水帘-水洗式喷涂室的介质改为油，就是油帘-油洗式喷涂室。以油为介质并设置专门的过滤装置处理污染油，避免了污水排放造成的污染，延长了喷涂室的寿命。

（4）无泵式喷涂室　无泵式喷涂室以无水泵而得名。空气流在风机引力的作用下，通过水面与旋涡室之间的狭缝时形成高速气流，在水面形成文丘里管现象，将水吸入气流而雾化。空气中的漆粒与水在卷吸板的作用下，旋转进入清洗室，较大的漆粒被卷吸板上的水膜吸附，其余漆粒与水粒子在清洗室中挡板的作用下反复碰撞而凝聚，滴入水槽。无泵式喷涂室需采用静压高的风机，还要保持水位稳定，以保证狭缝的大小稳定。这种喷涂室结构简单，效率高。

（5）上送下抽式喷涂室　上述喷涂室一般为侧抽风型，适于悬挂式运输的中小型工件的涂装，而对于大型被涂物，如汽车，就要采用上送下抽型喷涂室。这种类型的喷涂室又分为喷射水洗式、文丘里管式和水旋式。文丘里管式喷涂室在喷涂室的下部水槽的上面设置了一个倒喇叭形的抽风罩，中心留有间隙，使得喷涂室中的气流成为向中间收缩的层流通过抽风罩的间隙形成高速气流，在安装于抽风罩底面的折流板与水面之间的狭缝处形成文丘里管现象，使水产生水雾化。喷射水洗式效率较低，而文丘里管式地坑太深，所以逐渐被水旋式喷涂室替代。水旋式喷涂室不同之处就是采用了水旋器来处理漆雾。水旋器的工作原理是使污染空气和水流在特殊的动力管内高速旋转的同时，充分接触，然后急速扩散减速和冲击，使漆粒和水滴一起与空气分离，被留在水中。一般水中加入凝聚剂，使漆粒完全沉淀或浮于水面，便于清除。

## 5.10　汽车涂装工艺

### 5.10.1　什么是汽车车身涂层标准与涂层体系?

汽车涂层分为10组，其中TQ1为载货汽车车身涂层，TQ2为轿车车身涂层。对TQ2来说，属高级装饰性涂层（高级轿车用）和优质装饰保护性涂层（中级轿车用），而TQ1有优质装饰保护性涂层和一般装饰保护性涂层两个等级。汽车车身涂层的主要质量指标见表5-16，其他还有相应的耐水、耐油和耐化学药品性的要求。

**表5-16　汽车车身涂层的主要质量指标**

| 涂层分组、等级 | | TQ2（甲） | TQ2（乙） | TQ1（甲） | TQ1（乙） |
|---|---|---|---|---|---|
| 应用 | | 高级轿车车身 | 中级轿车车身 | 载货汽车、吉普车车身、客车车厢 | 载货汽车、吉普车车身、客车车厢 |
| 耐候性（天然曝晒） | | 2年失光≤30% | 2年失光≤30% | 2年失光≤30% | 2年失光≤60% |
| 耐盐雾性/h | | 700 | 700 | 700 | 240 |
| 涂层厚度/mm | 底漆 | ≥20 | ≥20 | ≥15 | ≥15 |
| | 中漆 | 40~50 | ≥30 | | |
| | 面漆 | 50~80 | ≥40 | ≥40 | ≥40 |

（续）

| 涂层分组、等级 | | TQ2（甲） | TQ2（乙） | TQ1（甲） | TO1（乙） |
|---|---|---|---|---|---|
| 外观 | | 平整光滑，无颗粒，光亮如镜，光泽度大于90 | 光滑平整无颗粒，允许极轻微桔皮，光泽度大于90 | 光滑平整无颗粒，允许极轻微桔皮，光泽度大于90（平光小于30） | 光滑平整无颗粒，允许极轻微桔皮，光泽度大于90（平光小于30） |
| 力学性能 | 抗冲击性/N·cm | ≥196 | ≥294 | ≥294 | ≥392 |
| | 弹性/mm | ≤10 | ≤5 | ≤5 | ≤3 |
| | 硬度 | ≥0.6 | ≥0.5 | ≥0.5 | ≥0.4 |
| | 附着力/级 | 1 | 1 | 1 | 1 |

从涂层厚度来看，汽车涂层属复合涂层。高级轿车车身一般采用4C4B或5C5B涂层体系，C表示coat（涂层），B表示bake（烘干），即分别涂底漆、中涂漆，面漆和罩光清漆共4～5次，分别烘干4～5次；一般轿车车身采用3C3B涂层体系，分别涂装并烘干底漆、中涂和面漆；载货汽车、吉普车车身和覆盖件及客车车厢采取2C2B涂层体系，即分别涂装并烘干底漆与面漆。对于厚度40μm的面漆，通常采用湿碰湿工艺喷两道。对于厚度50μm的中涂层，可采取喷一道涂层烘干、打磨再喷涂—烘干—打磨工艺，使之表面有足够的平整度；也可采用湿碰湿工艺方式。

湿碰湿工艺是多层涂装中经常采用的工艺，即在喷涂第一道涂层后，不直接烘干，只是晾干5min左右，使表面达到表干，接着喷涂第二道涂层甚至第三道涂层，晾干5～10min后一并烘干的工艺。该工艺可增强涂层间的结合力，节省能源并大大缩短工时，提高生产效率。目前湿碰湿工艺不仅用于面漆与中涂，还用于电泳底漆和水性中涂层。从涂料上看，湿碰湿工艺仅适用于缩合聚合型热固性烘漆，如环氧树脂、氨基树脂和丙烯酸树脂涂料等，不适用于氧化聚合型涂料，如醇酸树脂涂料等。

为达到汽车涂层耐盐雾性达到700h以上的防腐蚀要求，对于大批量的流水线生产方式，底漆一般采用阴极电泳涂料；对于小批量作业时，由于阴极电泳设备投资大，且此时槽液的稳定性差，影响生产正常进行，总的技术经济性很低，可采用溶剂型环氧酚醛或环氧氨基底漆；若不具备烘烤条件，可选用双组分的环氧底漆。

对耐盐雾性在240h左右的载货汽车涂层，可采用成本较低的聚丁二烯阳极电泳底漆；小批量生产时可采用环氧酯型溶剂性底漆。

轿车涂层要求涂层光亮如镜，镜像清晰，鲜映性在0.8以上，这就要求在涂面漆之前，表面应有较高的平整度。为实现该目的，轿车涂层必须有1～2道中间涂层。中间涂层本身的功能是保护底漆涂层和腻子层（防止被面漆咬起），增加底漆与面漆的结合力，消除底层的粗糙度（对10μm的粗糙度有效），提高涂层装饰性，增加涂层厚度，提高整个涂层的耐水性和装饰性（丰满度、光泽、鲜映性）。为此，中间涂层应与底漆和面漆有良好的配套性，并应具有良好的打磨性。能满足这几方面性能的中涂主要是溶剂型或水性的聚酯、聚氨酯、氨基醇酸、热固性丙烯酸或环氧氨基树脂。

中间涂层按其功能可分为通用底漆（又称底漆二道浆、二道浆）、腻子二道浆（又

称喷用腻子）、封底漆等。通用底漆既有底漆性能，又具有一定的填平能力（二道浆的功能），含颜料较底漆多，比腻子少，一般用来填平涂过底漆或刮过腻子表面的划纹或针孔等缺陷。腻子二道浆兼有腻子和二道浆的作用。另外，封底漆这一中间涂料还可消除底涂层对面漆的吸收性，提高面漆的光泽度和丰满度。

汽车涂层的耐候性和外观装饰性要求很高，能满足该条件的涂料主要有氨基烘漆、丙烯酸烘漆和双组分脂肪族聚氨酯面漆三大类。在流水线生产时，因用涂料量大，宜采用烘漆；小批量或修补作业时，宜采用双组分涂料，免去固化设备的投资并减少固化能耗。

对于 TQ1（乙）载货汽车组涂层，涂膜耐候性和硬度较低，可采用自干性的醇酸磁漆或快干性的硝基面漆和过氯乙烯面漆。但醇酸涂料的干燥性很差，硝基涂料和过氯乙烯涂料的丰满度很差，它们适合于小批量生产；大量生产时，采用硝基涂料或过氯乙烯涂料可强制干燥（60℃），或改用普通氨基烘漆。

高档涂层的罩光清漆一般与面漆同品种，避免涂层间不配套带来的涂层缺陷。

高档涂层为了赋予更加奇妙的装饰效果，采用金属闪光涂料或珠光涂料作为面漆层。它由底色漆与清漆“湿碰湿”两道喷涂、烘干构成。闪光效果与底色漆的品种和喷涂工艺有关，从涂料品种来讲，水性聚酯底色漆、溶剂性聚酯、热塑性丙烯酸或热固性丙烯酸底色漆的闪光效果是依次下降的。清漆若改用透明涂料（加透明颜料），则色彩更为鲜艳，外观更漂亮。

### 5.10.2　什么是汽车零部件的耐腐蚀达克罗涂装？

达克罗涂装层具有高耐蚀性、高耐热性、高耐候性、高渗透性、低摩擦因数、高配合精度、无氢脆、可深涂、对环境友好等优点。用于达克罗涂装的溶液是由锌片、无水铬酸、乙二醇等组成的分散水溶液。把被处理工件放入处理液中浸泡后，在烘干箱中加热至300℃左右，使六价铬离子被乙二醇等有机物还原，生成不溶于水、无定形的 $n\mathrm{CrO_3} \cdot m\mathrm{Cr_2O_3}$ 作为结合剂，与表面数十层的积层锌片相经结合形成覆盖膜。同时达克罗处理液中的无水铬酸在金属材料表面形成致密保护膜，最终形成了以鳞片状锌片、$n\mathrm{CrO_3} \cdot m\mathrm{Cr_2O_3}$ 组成的片状交错层结构，即为达克罗涂层。达克罗涂料配制和时间使用时的技术参数要求见表 5-17。

**表 5-17　达克罗涂料配制和时间使用时的技术参数要求**

| 指　　标 | 粘度/s | 密度/(g/cm$^3$) | pH | $Cr^{6+}$/(g/L) | 温度/℃ |
|---|---|---|---|---|---|
| 配制的成品涂料 | 60～80(2 号杯) | 1.30～1.40 | 3.8～5.2 | 23～29 | 20±2 |
| 使用的成品涂料 | 40±2(涂 4 杯) | 1.35～1.40 | 4.5～5.2 | ≥23 | 20±2 |

### 5.10.3　轿车车身涂装工艺是什么？

高级轿车车身典型涂装工艺见表 5-18。

### 5.10.4　载货汽车车身的涂装工艺是什么？

载货汽车车身的涂装工艺见表 5-19。

**表 5-18　高级轿车车身典型涂装工艺（4C4B 珠光色）**

| 工艺序号 | 工艺名称 | 工艺条件 | 工艺管理 | 备　注 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 上线 | | | 工件无锈、无机械缺陷 |
| 2 | 脱脂 | pH = 9.6 ~ 10，50 ~ 52℃，68s | 碱度、温度、清洗质量 | 喷淋 |
| 3 | 脱脂 | pH = 9.6 ~ 10，50 ~ 52℃，68s | 碱度、温度、清洗质量 | 喷淋或浸 |
| 4 | 水洗 | 42s，0.2MPa，40 ~ 50℃ | 温度、水的碱度 | 喷淋 |
| 5 | 水洗 | 常温，42s | 水的碱度 | 喷淋 |
| 6 | 表调 | pH = 7.2 ~ 7.5，153s | | 喷淋 |
| 7 | 磷化 | 锌系中低温磷化 3 ~ 5min | TA、FA、膜厚、温度、促进剂等 | 喷-浸 |
| 8 | 水洗 | 自来水，常温 | 酸度 | 喷-浸 |
| 9 | 钝化 | 2.5min，常温 | 浓度 | 喷-浸 |
| 10 | 水洗 | 循环去离子水，1.5min | 电导率 | 喷-浸 |
| 11 | 水洗 | 去离子水，1.5min | 电导率 | 喷-浸 |
| 12 | 阴极电泳 | 20μm 或 80 ~ 85μm | NV、温度、pH 值、电导率、电压、电流 | 浸 |
| 13 | | 175 ~ 180℃，20min | 温度、时间 | |
| 14 | 烘干打磨 | 400#砂纸 | | 根据需要 |
| 15 | 中涂 | 55μm，湿碰湿 | 温度、压力、环境洁净度 | |
| 16 | 中涂烘干 | 140℃，20min | 温度、时间 | |
| 17 | 湿打磨 | 400# ~ 800#水砂纸 | | 根据需要 |
| 18 | 头道面漆 | 闪光底色，20 ~ 30μm，湿碰湿 | 温度、压力、环境洁净度 | |
| 19 | 罩光清漆 | 85μm | 温度、压力、环境洁净度 | |
| 20 | 烘干 | 140℃，20min | 温度、压力 | |
| 21 | 湿打磨 | 800# ~ 1000#砂纸 | | 根据需要 |
| 22 | 罩光清漆 | 30 ~ 35μm | 温度、压力、环境洁净度 | |
| 23 | 烘干 | 140℃，20min | 温度、压力 | |

**表 5-19　载货汽车车身的涂装工艺**

| 工序 | 工序名称及作业内容 | | 工艺管理项目 | 设备与工具 | 材料 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | 一厂 | 二厂 | | | | |
| 1 | 上件:将无锈白件挂于悬挂储存链上 | | 锈蚀程度 | 悬挂链、升降台、挂具 | | |
| 2 | 手工擦净厚油污,少量锈 | | | 抹布、水基清洗剂刷子 | | |
| 3 | 喷预脱脂:压力 0.1 ~ 0.2MPa,60 ~ 70℃,60s | 喷射压力:0.1 ~ 0.2MPa,55 ~ 60℃,1min | 碱度、温度、压力 | 喷淋槽,油水分离器 | 300#脱脂剂,CQ-252 低泡清洗剂 | 每周换一次 |
| 4 | 喷-半浸脱脂:压力 0.1 ~ 0.15MPa,60 ~ 70℃,2.5 ~ 3.5min | 喷-浸喷脱脂:压力 0.1MPa,55 ~ 60℃,2.5min,浓度 1% | 碱度、温度、清洁度 | 浸渍槽 | 300#脱脂剂,CQ-252 低泡清洗剂 | 两月换一次 |
| 5 | 喷-半浸水洗:0.1 ~ 0.15MPa,2.5min | 喷-喷水洗:0.1 ~ 0.15MPa,40℃ | | | 自来水 | |
| 6 | 喷水洗:0.1 ~ 0.15MPa,30min | 喷水洗:0.1MPa,1min | | | 自来水 | 每周换一次 |
| 7 | 喷-半浸磷化:0.1 ~ 0.12MPa,30 ~ 35℃,2.5min | 喷-浸喷磷化:0.1 ~ 0.12MPa,35 ~ 40℃, 2.5min; FA0.7 ~ 1.2,TA24 ~ 26 | FA、TA 促进剂及温度,磷化质量 | 循环除渣系统 | 3#磷化剂/CL431 低渣磷化剂 | 磷化膜 1.6 ~ 2.4$g/m^2$ |
| 8 | 喷-半浸水洗:0.15MPa,2.5min | 喷-浸喷水洗:0.1 ~ 0.14MPa | | | 自来水 | |
| 9 | 喷水洗,0.15MPa,30s | 喷钝化液:pH5 ~ 6,$Cr^{3+}$,0.04 ~ 0.06MPa,30s | 浓度 | | 自来水/钝化剂 | |
| 10 | 喷循环去离子水:0.1MPa,30s | 喷循环去离子水:0.05 ~ 0.1MPa,24s | $L<50\mu s/cm$ | | 循环去离子水 | 每周换一次 |
| 11 | 喷新鲜去离子水:0.08 ~ 0.1MPa,20s | 喷新鲜去离子水:0.05MPa,12s | $L<20\mu s/cm$ | 去离子水装置 | 新鲜去离子水 | |
| 12 | 吹积水 | 吹积水 | | 压缩空气 | | |
| 13 | 热风吹干 | 热风吹干 | | 干燥室 | | |
| 14 | 强制冷却、上电极 | 强制冷却、上电极 | | 冷却室 | | |
| 15 | 阴极电泳:8603 黑色电泳涂料 | 阴极电泳:G1083 电泳涂料 | 固体含量、电压、pH 值、温度、电导值、膜厚均匀性及外观 | 160t 槽/140t 槽,阳极液系统 | 阴极电泳涂料 | 每小时循环 2 ~ 6 次 |

（续）

| 工序 | 工序名称及作业内容 | | 工艺管理项目 | 设备与工具 | 材　　料 | 备　　注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 一　　厂 | 二　　厂 | | | | |
| 16 | 电泳后冲洗:(1)槽上超滤液冲洗;(2)循环超滤液冲洗;(3)新鲜超滤液冲洗;(4)循环去离子水冲洗;(5)新鲜去离子水冲洗 | 电泳后冲洗:(1)槽上超滤液冲洗;(2)循环超滤液冲洗;(3)新鲜超滤液冲洗;(4)循环去离子水冲洗;(5)新鲜去离子水冲洗 | 水质 | 超滤系统去离子水装置 | | |
| 17 | 吹水珠或滴干、卸电极 | 吹水珠或滴干、卸电极 | | | | |
| 18 | 烘干:180℃,30min | 烘干:180℃,30min | 温度及其分布 | 辐射加对流式烘道 | | |
| 19 | 冷却,转入地面链 | 冷却,转入地面链 | | | | |
| 20 | 喷 PVC 车底涂料 | 喷 PVC 车底涂料 | 高压喷枪/自动喷涂 | | PVC 抗石击涂料 | |
| 21 | 内表喷隔热阻尼胶 | 内表喷隔热阻尼胶 | 高压喷枪/自动喷涂 | | 阻尼涂料 | |
| 22 | 烘干 | 烘干 | 温度 | 烘道 | | |
| 23 | 强制冷却 | 强制冷却 | | 冷却室 | | |
| 24 | 打磨、擦净 | 打磨、擦净 | 外观 | 320～400#水砂纸 | 粘性抹布 | |
| 25 | 湿碰湿喷面层涂料 | 湿碰湿喷面层涂料 | 粘度 | 水旋喷涂室,自动静电喷涂,手工补涂 | 氨基热固化涂料,废涂料凝聚剂 | |
| 26 | 晾干:5～10min | 晾干:5～10min | | | | |
| 27 | 烘干:100～110℃,40min | 中温烘干 | 温度及分布 | 对流烘道 | | |
| 28 | 强制冷却 | 强制冷却 | | 冷却室 | | |
| 29 | 检查 | 检查 | 涂膜外观 | | | |
| 30 | 车内腔体内部喷蜡 | 车内腔体内部喷蜡 | | | 防锈蜡 | |
| 31 | 总装 | | | | | |

### 5.10.5　客车车身的涂装工艺是什么？

客车、旅游车车厢的涂装特点：一是生产量较小，二是车身体积庞大，生产方式采用往复间歇式生产。客车涂层采用 TQ1（甲）载货汽车涂层组的条件，装饰性较载货汽车高，一般采用三涂层体系（即底漆、中涂、腻子和面漆），而面漆均为多色涂装。运输采取地轨和运转车人工推动小车或地面链牵引小车来实现。前者用于往复间歇式生产，后者用于间歇流水线生产。

客车车厢的涂装工艺与载货汽车车身的流水线工艺有很大区别，客车预处理和涂底漆都是在单独的工位中进行，如在预处理车间或焊接车间，对骨架、外壁板涂底漆后在焊接或在组装过程中对骨架涂底漆，再焊装涂好底漆的外壁板，然后修补焊接破坏的底漆。涂装车间的任务主要是涂中涂层和面漆。

客车车厢体积庞大，涂单色很难看，因此涂面漆需要按套色工艺进行。

客车由于产量小，涂装装备和设施较差，一般采用自干性或快干性的挥发性涂料或双组分涂料，如硝基涂料、热塑性丙烯酸涂料、醇酸涂料、双组分环氧底漆和双组分聚氨酯面漆等。有中温烘干室时也可采用氨基烘漆。客车车厢涂装工艺示例见表 5-20。

表 5-20　客车车厢涂装工艺示例

| 工序 | 工序名称及作业内容 | 工艺管理项目 | 设备与工具 | 材　料 | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 薄板 | 1）除油除锈二合一处理：常温，10～15min | 表面洁净度 | 浸渍槽 | 二合一处理剂 | |
| | 2）水洗：常温，1min | | 水洗槽 | 自来水 | 溢流 |
| | 3）水洗：常温，1min | | 水洗槽 | 自来水 | |
| | 4）磷化：25～35℃，10～15min | FA、TA、促进剂、磷化质量 | 浸渍槽 | 常温磷化剂 | |
| | 5）水洗：常温，1min | | 水洗槽 | 自来水 | 溢流 |
| | 6）干燥：晾干或 110℃热风吹干，或热水烫干 | | | | 晾干需防锈封闭处理 |
| 骨架 | 1）除锈 | 锈蚀程度 | | 砂布、钢丝刷 | |
| | 2）吹灰，抹净 | 尘埃，油污 | | 抹布，溶剂 | |
| | 3）喷底漆 | 粘度 | 空气喷涂设备 | 双包装环氧底漆 | 可用环氧带锈涂料 |
| | 4）干燥：自干或 80℃强制干燥 | 温度，时间 | 低温烘干室 | | |
| 车厢组装 | 1）薄板件涂底漆 | 粘度 | 空气喷涂 | 双包装环氧涂料 | |
| | 2）干燥：自干或强制干燥 | | | | |

（续）

| 工序 | 工序名称及作业内容 | 工艺管理项目 | 设备与工具 | 材　　料 | 备　　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 车厢组装 | 3）焊装 | | | | |
| | 4）清理焊渣，铁锈 | | | 钢丝刷，砂布 | |
| | 5）焊接处底漆修补，送入涂装车间 | | 刷子 | 环氧带锈涂料 | |
| 涂装车间 | 1）检查验收 | 底漆漏涂、破损和生锈 | | | |
| | 2）底漆打磨，吹灰抹净，并用溶剂抹布擦净 | | | 240#水砂纸、抹布、溶剂 | |
| | 3）刮腻子 | 固化时间 | 刮刀 | 不饱和聚酯腻子 | |
| | 4）打磨，水洗 | | | 240#～320#水砂纸 | |
| | 5）干燥：晾干或烘干（80～100℃） | | 低温烘干室 | | |
| | 6）车身内表面壁板和顶盖喷隔声隔热涂料（2～3mm厚） | | 喷枪 | 聚氨酯发泡隔声材料 | |
| | 7）喷两道浆或封底漆 | 粘度 | 水旋喷涂室 | 丙烯酸封底漆 | |
| | 8）自干或强制干燥（60℃） | 温度，时间 | 低温烘干室 | | |
| | 9）打磨，水洗净 | 外观 | | 360#～400#水砂纸 | |
| | 10）烘干（80～100℃） | | 低温烘干室 | | |
| | 11）喷第一道面漆（外表和内表显露部位） | 粘度 | 水旋喷涂室 | 双包装脂肪族聚氨酯 | |
| | 12）强制干燥（80℃） | 温度，时间 | 低温烘干室 | | |
| | 13）屏蔽 | | | 纸和胶带 | |
| | 14）喷第二道面漆进行套色 | 粘度 | 喷涂室 | 热塑性丙烯酸或聚氨酯面漆 | |
| | 15）自干 | | | | |
| | 16）去掉胶带和屏蔽纸 | | | | |
| | 17）检查合格，送内饰 | | | | |

### 5.10.6　汽车车架的涂装工艺是什么?

车架由 4 ~ 6mm 厚的热轧钢板经冲压成型，铆接或焊接组装而成。它处于车子底部，常与泥水接触，要求涂层具有较好的防腐蚀性能。

由于车架材料为热轧钢板，上线之前应单独酸洗除掉氧化皮，送入涂装车间的车架应无氧化皮和锈蚀。早期车架均采取浸涂溶剂性沥青涂料，现已改用浸涂溶剂型丙烯酸或丙烯酸水性涂料，有些采用阳极电泳涂装。该涂装工艺安全、低污染，采用锌盐磷化处理后，涂层的耐盐雾性可达 400h。

车架等汽车零部件由于结构复杂，常有较厚油污，脱脂前最好采用热水高压预喷洗，脱脂采用碱性清洗剂高压喷洗，预处理可采用全喷淋方式，车架的涂装工艺见表 5-21。

**表 5-21　车架的涂装工艺**

| 工序 | 电泳涂装工艺 | 浸水性涂料工艺 | 浸溶剂型涂料工艺 |
|---|---|---|---|
| 1 | 上件，电动葫芦双轨运输链 | 上件，电动葫芦双轨运输链 | 上件，电动葫芦双轨运输链 |
| 2 | 预脱脂：50 ~ 60℃ 热水，高压喷洗 1min | 预脱脂：50 ~ 60℃ 热水，高压喷洗 1min | |
| 3 | 脱脂：碱度 8 ~ 12 点，60℃，喷 2min | 脱脂：碱度 8 ~ 12 点，60℃，喷 2min | 脱脂：60℃，喷洗 2min |
| 4 | 水洗：50 ~ 60℃，喷洗 45s | 水洗：50 ~ 60℃，喷洗 45s | 水洗：60℃热水喷洗 30s |
| 5 | 水洗：常温水，喷洗 45s | 水洗：常温水，喷洗 45s | 水洗：60℃热水喷洗 30s |
| 6 | 磷化：锌盐，55℃，喷 1min | 磷化：锌盐，55℃，喷 1min | 干燥：热风强制干燥 |
| 7 | 水洗：常温自来水，喷洗 45s | 水洗：常温自来水，喷洗 45s | 冷却：压缩空气强制冷却 |
| 8 | 水洗：常温自来水，喷洗 45s | 水洗：常温自来水，喷洗 45s | |
| 9 | 水洗：循环去离子水，喷洗 12s | 水洗：循环去离子水，喷洗 12s | |
| 10 | 新鲜去离子水喷洗 12s | 新鲜去离子水喷洗 12s | |
| 11 | 阳极电泳涂装：采用黑色聚丁二烯丙烯酸电泳涂料，浸入后通电，电泳时间 2.5min<br>控制参数：固体含量、温度、电压、pH 值、电导率、MEQ 等<br>亦可采取阴极电泳 | 浸水性涂料：黑色丙烯酸水性浸漆，控制固体含量、pH、温度、粘度、助溶剂 | 浸涂：溶剂型黑色沥青涂料，18 ~ 20℃，粘度 22 ~ 24s，需控温恒定粘度，防火措施 |
| 12 | 电泳后冲洗：<br>超滤液冲洗→新鲜超滤液冲洗→循环去离子水冲洗→新鲜去离子水冲洗 | 沥青涂料：10min | 沥青涂料：10min |
| 13 | 吹干水珠 | | |
| 14 | 烘干：160 ~ 180℃，16min | 烘干：160℃，20min | 烘干：180 ~ 200℃，30min |

### 5.10.7 汽车车轮的涂装工艺是什么?

车轮的材质依汽车类型而异，载重货车的车轮一般由4~6mm热轧钢板卷压焊接而成；轿车和轻型车的车轮由冷轧钢板卷压焊接而成，有些是用铝合金材料制造的。车轮经常受到泥水的激烈冲刷侵蚀，因此车轮的防护性能要求比较高。车轮由于暴露在汽车两侧，对于轿车等高档汽车，车轮涂层外观具有较高要求，同时防护要求更高。因此，轿车车轮多采用厚膜阴极电泳涂层，有些采用粉末喷涂；载重车一般采用一次阴极电泳底漆或喷涂底、面漆；铝合金车轮需经化学氧化后再喷涂金属闪光漆。

铁质车轮在涂装前可采用铁系、锌系或锌钙系磷化，车轮的外形相对比较简单，可采取全喷淋预处理工艺方式。钢圈在成型后残留的润滑油，经焊接时高温老化作用，较难洗脱，若采用阴极电泳涂装，应强化脱脂工艺。

汽车车轮涂装工艺见表5-22。

**表5-22 汽车车轮涂装工艺**

| 工序 | 厚膜阴极电泳漆工艺 | 粉末静电喷涂工艺 | 浸（淋）涂工艺 | 浸涂工艺 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 上件：挂具上下挂两个，轻型悬链 | 上件：挂具上下挂两个，轻型悬链 | 上件：普通悬链 | 上件：普通悬链 |
| 2 | 预脱脂：TB30点，80℃，0.25MPa | 预脱脂：TB30点，80℃，0.25MPa | 预脱脂：60℃，0.1~0.2MPa喷 | 预脱脂：60℃，0.1~0.2MPa喷 |
| 3 | 脱脂：TB20点，80℃，0.25~0.5MPa喷 | 脱脂：TB20点，80℃，0.25~0.5MPa喷 | 脱脂：60℃，0.1~0.2MPa喷 | 脱脂：60℃，0.1~0.2MPa喷 |
| 4 | 水洗：50~55℃，0.17MPa，TB<1.5点 | 水洗：50~55℃，0.17MPa，TB<1.5点 | 水洗：55℃热水，0.15MPa喷 | 水洗：55℃热水，0.15MPa喷 |
| 5 | 水洗：室温，0.17MPa | 水洗：室温，0.17MPa | 水洗：常温自来水：0.1~0.15MPa | 水洗：常温自来水：0.1~0.15MPa |
| 6 | 表面调整：室温，0.03~0.07MPa | 表面调整：室温，0.03~0.07MPa | 表面调整：草酸溶液（热轧钢材） | 表面调整：草酸溶液（热轧钢材） |
| 7 | 磷化：锌盐，60℃，0.03~0.07MPa，控制TA、FA、促进剂和温度 | 磷化：锌盐，60℃，0.07MPa，TA10点 | 磷化：锌盐，60℃，0.07MPa，控制TA、FA、促进剂和温度 | 磷化：锌盐，60℃，0.07MPa，控制TA、FA、促进剂和温度 |
| 8 | 水洗：室温自来水，0.17MPa | 水洗：室温自来水，0.17MPa | 水洗：自来水，0.1~0.15MPa | 水洗：自来水，0.1~0.15MPa |
| 9 | 水洗：室温，0.07~0.17MPa | 水洗：室温，0.07~0.17MPa | 水洗：自来水，0.07~0.1MPa | 水洗：自来水，0.07~0.1MPa |
| 10 | 循环去离子水洗：0.07MPa | 循环去离子水洗：0.07MPa | 去离子水洗：0.07MPa | 去离子水洗：0.07MPa |
| 11 | 新鲜去离子水洗：0.07~0.12MPa | 烘干：80~100℃热风干燥 | 干燥：热风干燥 | 干燥：热风干燥 |

（续）

| 工序 | 厚膜阴极电泳漆工艺 | 粉末静电喷涂工艺 | 浸（淋）涂工艺 | 浸涂工艺 |
|---|---|---|---|---|
| 12 | 滴干区 | | 冷却：强制冷却 | 冷却：强制冷却 |
| 13 | 阴极电泳（干膜厚 30 ~35μm）：厚膜阴极电泳涂料，控制固体含量、pH 值、电导率、温度、MEQ、电压、带电入槽 | 粉末静电喷涂：环氧粉末涂料，干膜厚度 40 ~70μm | 浸（淋）涂水性底漆：控制温度、粘度、pH 值、助溶剂、固体含量、干膜厚 25μm | 浸涂溶剂型涂料：沥青涂料或环氧底漆，控制固体含量、温度、粘度 |
| 14 | 电泳后冲洗：三次超滤液冲洗，两次去离子水冲洗 | | 滴干：8min | 滴干：8 ~10min |
| 15 | 吹干：压缩空气吹干水珠 | | 强制闪干：空气对流闪干 2.5min | |
| 16 | 烘干：180℃，15 ~20min | 烘干：200℃，20min | 烘干：200℃，15min | 烘干：200℃，30min |
| 17 | 冷却：强制冷却 | 冷却：强制冷却，检查 | 强制冷却 | 强制冷却 |
| 18 | 喷金属底色漆：<br>静电喷涂设备，丙烯酸金属底色漆，干膜厚度 20μm | | 喷水性面漆：（干膜厚 25μm），空气辅助静电喷涂聚酯面漆 | 浸涂沥青清漆或环氧酯面漆 |
| 19 | 闪干：3min | | 闪干：3min | 滴干：10min |
| 20 | 喷清漆：静电喷涂设备，丙烯酸，干膜厚度 30μm | | 烘干：150℃，15min | 烘干：200℃，40min |
| 21 | 闪干：5 ~8min | | 强制冷却，检查 | 强制冷却，检查 |
| 22 | 烘干：135℃，20 ~30min | | | |
| 备注 | 强制冷却：检查<br>此为轿车车轮涂装工艺，4 ~6mm 冷轧钢板卷压，焊接，需喷涂金属色涂料 | 粉末喷涂采取铁盐磷化便有良好效果，省去表调工序，脱脂，水洗工序还可以大大简化 | 热轧钢板锌盐磷化前采取草酸稀液表调 | 该工艺的环保安全性、技术经济性最差，可采取 3 ~4 步铁盐磷化工艺 |

下面以一次阴极电泳底漆涂装工艺为例，说明汽车车轮的涂装工艺。

（1）上件　经喷砂除锈。

（2）脱脂　45 ~55℃，碱度 10 ~15 点，150 ~200kPa。

（3）水洗　自来水，150 ~200kPa，水的碱度应小于 2 点，否则应排放后换新水。

（4）水洗　自来水，150 ~200kPa，水的碱度应小于 1.5 点，否则应排放后换新水。

（5）磷化 TA23～27点，FA1.2～1.5点，45～55℃，150～200kPa。

（6）循环去离子水洗 电导率应小于50μS/cm。

（7）新鲜去离子水洗 电导率应小于20μS/cm。

（8）阴极电泳 电导率应小于1000μS/cm，pH值大于4，工作电压180～230V，膜厚30～35μm。

（9）水洗 循环超滤水洗→新鲜超滤水洗→循环去离子水洗→新鲜去离子水洗。

（10）烘干 180′℃，15～20min。

（11）冷却 强制冷却。

（12）喷涂 丙烯酸银粉漆干膜厚度为20μm。

另外，可浸涂水性底漆或溶剂性底漆。

### 5.10.8 汽车车桥和传动轴的涂装工艺是什么？

车桥和传动轴涂装工艺实例如下：上件→热碱脱脂(50～60℃,1～1.5min）→热水洗(50～60℃,0.5min)→热水洗(50～60℃,0.5min）→热风吹干(100～110℃吹干并冷却）→喷涂氯化橡胶厚膜底盘漆[粘度18～20s(涂-4杯粘度计,25℃),干膜厚度不小于35μm]→烘干(80～100℃,10～15min)→下线检查(涂膜应完整,没有露底现象,涂膜表干应不粘手,允许在装配过程中进一步干燥)。

### 5.10.9 汽车车门锁的涂装工艺是什么？

汽车车门锁的涂装工艺见表5-23，涂层性能见表5-24。

**表5-23 汽车车门锁的涂装工艺**

| 参数 | 浸渍时间/s | 甩干 | | 预热 | | 固化 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 离心转速/(r/min) | 甩干时间 | 温度/℃ | 时间/min | 温度/℃ | 时间/min |
| 范围 | 30 | 240～280 | 视装入量而定 | 80～100 | 10～15 | 280～310 | 15～18 |

**表5-24 车车门锁涂层性能**

| 涂层 | 检测项目 | 技术要求 | 测试结果 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 底漆层 | 外观 | 呈浅银灰色、颗粒细小、均匀 | 符合要求 | 未加封闭涂层前 |
| | 厚度/μm | 6～8 | 符合要求 | 2C2B |
| | 涂覆量/（mg/dm²） | 200～240 | 符合要求 | 2C2B |
| | 附着力/级 | ≥3.5 | 4.0 | 2C2B |
| | 耐盐雾性/h | ≥480 | 680 | 2C2B |
| | 耐湿热性 | 240h内不得出现红锈 | 符合要求 | 2C2B |
| | 耐水性 | 240h内涂层不得从基体剥落或露底 | 符合要求 | 2C2B |
| 面漆层 | 外观 | 平整、光滑 | 符合要求 | — |
| | 厚度/μm | ≥30 | 符合要求 | — |

### 5.10.10 汽车车身的中涂涂装工艺是什么？

汽车车身的中涂涂装大多采用溶剂型涂料和水性涂料，其工艺流程分别如图5-38和图5-39所示。

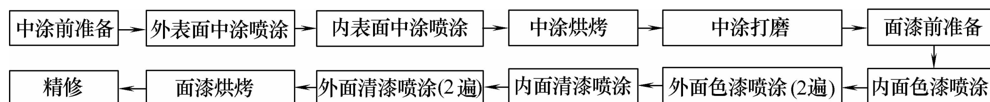



图 5-38　汽车车身中涂溶剂型涂料涂装工艺流程

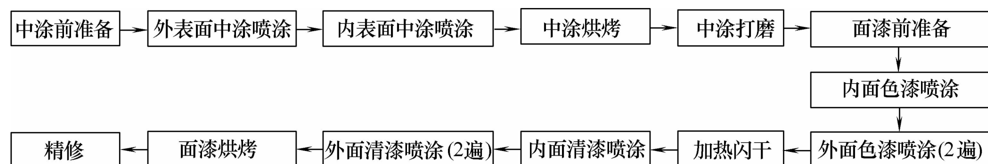



图 5-39　汽车车身中涂水性涂料涂装工艺流程

# 5.11　家用电器涂装工艺

## 5.11.1　家用电器涂装的工艺流程和工艺要求包括哪些?

家用电器绝大部分在室内使用，因而对涂层的耐候性要求较低，但随着人们生活质量的提高，对家用电器涂层的外观要求越来越高，越来越多样化，例如冰箱、洗衣机、冰柜等家用电器经常接触碱、盐和酸性物质等，要求涂层耐蚀性高。家电产量大，适用于流水线生产。

下面以洗衣机外壳的涂装工艺为例，说明家用电器的涂装工艺。

目前，洗衣机的涂装一般采用阴极电泳底漆和热固性粉末涂料面漆双层环保型涂层体系，基本工艺流程和工艺条件如下：

（1）上线　外壳应平整，无机械缺陷，无锈蚀。

（2）预脱脂　碱液加表面活性剂，50～60℃，0.15～0.2MPa，喷淋 3min。

（3）脱脂　碱液加表面活性剂，50～60℃，0.15～0.2MPa，喷淋 3min。

（4）热水洗　40～50℃，喷淋 1～1.5min；冷水洗喷淋 1～1.5min。

（5）表调　常温喷淋 1～1.5min。

（6）磷化　40℃左右，0.1MPa，喷淋 3min。

（7）自来水洗　1～1.5min，喷淋。

（8）自来水洗　1～1.5min，喷淋。

（9）循环去离子水洗　喷淋。

（10）新鲜去离子水洗　喷淋。

（11）白色阴极电泳　底漆通电 2.5～3min，电压 200V。

（12）循环超滤水洗　1min，喷淋。

（13）新鲜超滤水洗　1min，喷淋。

（14）去离子水洗　喷淋 1min。

（15）烘干　180℃，20min。

（16）冷却　下线，检查，个别地方打磨修补。

（17）上粉末涂装线。

（18）自动喷枪静电喷涂　环氧聚酯粉末。

（19）固化　160～180℃，20～30min。

（20）下线　检查。

### 5.11.2　洗衣机的涂装工艺有什么要求和注意要点?

1. 洗衣机涂装的要求

1）美观，与家庭内部色彩相协调，不变色。

2）能经受高温、高湿等，具备很好的耐蚀性和耐久性。

3）涂装工程便于大量生产。

4）使用的涂料易购，且价格便宜。

2. 涂料的选择

一般采用氨基醇酸烘漆或丙烯酸磁漆为面漆，底漆采用环氧底漆或水性电泳漆。对盖板和脚等需要特别耐腐蚀的部位，可采用磷化底漆和富锌漆涂装系统，或用镀锌钢板。还可采用聚酯粉末涂料或丙烯酸粉末涂料。

3. 洗衣机的涂装工艺

涂装前金属表面预处理工艺见表5-25。

**表5-25　涂装前金属表面预处理工艺**

| 序号 | 工艺过程 | 处理作用 | 处理剂 |
|---|---|---|---|
| 1 | 碱液冲洗 | 脱脂 | 601洗涤剂10g/L |
| 2 | “二合一”处理 | 脱脂去锈 | 硫酸、601洗涤剂 |
| 3 | 热水浸洗 | | 水 |
| 4 | 冷水冲洗 | | 水 |
| 5 | 磷化 | 提高附着力及耐蚀性 | 薄膜型磷酸锌系 |
| 6 | 冷水浸洗 | | 水 |
| 7 | 冷水冲洗 | | 水 |
| 8 | 冷水浸洗 | | 去离子水 |

涂装工艺见表5-26。

**表5-26　涂装工艺**

| 序号 | 工艺过程 | 涂　料 | 方　法 |
|---|---|---|---|
| 1 | 表面预处理 | 薄膜型磷酸锌系 | 见表5-25 |
| 2 | 电泳底漆 | 环氧水性电泳漆 | 直流阳极定电压电泳 |
| 3 | 二次冲洗 | | |
| 4 | 烘干 | | 桥式远红外烘道 |
| 5 | 打磨 | | |
| 6 | 静电喷面漆 | 胺基烘漆 | 圆盘式静电喷漆机 |

（续）

| 序号 | 工 艺 过 程 | 涂　　料 | 方　　法 |
|---|---|---|---|
| 7 | 第二次静电喷面漆 | 胺基烘漆 | 圆盘式静电喷漆机 |
| 8 | 补漆 | 胺基烘漆 | 手工 |
| 9 | 烘干 | | 远红外烘道 |

4. 涂装工艺说明

1）“二合一”脱脂除锈之前，先设一道碱液冲洗，起冲洗作用，去除大部分油污。

2）磷化膜对提高耐蚀性、增加涂层与底金属之间的附着力起着良好的作用。但如果磷化膜过厚，将会降低涂层的物理力学性能。因此一般采用薄膜型磷酸锌系，在中温或室温下磷化，可获得紧密细致的薄层磷化膜。

3）在磷化后采用三次“水洗”，特别是第三次用去离子水冲洗，使磷化膜更趋细致，并可减少杂质离子进入电泳槽内，从而保证了电泳质量。

4）电泳涂漆具有降低劳动强度、改善劳动条件和适于流水线生产等优点，而且解决了洗衣机箱体内部的表面涂装。选用的电泳漆要具有较高的泳透力，采用阴极电泳将可显著地提高涂层的耐蚀性。

5）圆盘式静电喷漆设备具有以下优点：涂层紧密细致，涂着效率高，膜厚均匀，占地面积小，并可根据喷涂要求调整运动轨迹。从而可以明显地提高面漆施工的质量。

6）采用“湿碰湿”喷涂工艺，对同一工件作两次喷涂，这样既保证了洗衣机箱体丰满、细致的要求，又可节省一次烘干工序，节省电力和降低成本。为了使“湿碰湿”工艺达到应有的效果，在配漆时，两台圆盘喷漆机所用涂料的电阻值及施工粘度应有所区别。

### 5.11.3　电冰箱的涂装工艺特点是什么?

电冰箱一般用于室内，不受日光照射和风雨的侵蚀，使用条件较好。因此，要求在室内条件下使用几十年而不生锈。还有电冰箱是贮藏食品并使之保持较低的温度，故要经常保持一种清洁感。根据这样的条件，对电冰箱的涂料就要特别重视以下几个方面的性能：

1）颜色、光泽等外观质量。

2）硬度高，耐食品容器、玻璃等的碰击。

3）耐污染性好，与调味品和其他着色物品接触时不产生污染，与黄油、食用植物油、牛油等不起作用。

4）耐蚀性好，耐水和耐温度升降时产生的潮气，耐果汁汽水，耐清洗用的碱水等。

5）没有难闻的气味。

6）施工性能好，适用于流水线生产，成本低。

### 5.11.4　电冰箱涂装用涂料有哪些?

20 世纪六十年代以前，电冰箱的涂装是底层用环氧改性醇酸树脂底漆，面层用氨

基醇酸烘漆。六十年代出现了丙烯酸涂料，几乎所有生产电冰箱的工厂都采用热固性丙烯酸涂料。这种涂料具有较好的耐污染性能，而且在涂膜硬度、保色性、耐蚀性和附着力等性能方面均能满足电冰箱的要求，因而代替了氨基烘漆。七十年代以来。由于石油危机的冲击，提出了节约能量和防止尘害的问题。各厂根据自己涂装工地的条件、环境和设备等，采用各种不同的涂料和涂装工艺，现按不同种类的涂料分述如下。

（1）高温固化热固性溶剂型丙烯酸树脂涂料　这种涂料用静电涂装后在 160 ~ 170℃下烘干 20min，其涂膜性能在各方面相对都是较好的。

（2）中温固化热固性溶剂型丙烯酸树脂涂料　这种涂料可在 130 ~ 140℃下，经 20min 固化。与高温型相比其耐蚀性和耐化学性能略差，但已能满足电冰箱涂装的要求。

（3）高温热固性溶剂型高固体份聚酯树脂涂料　过去电冰箱不使用聚酯涂料，理由是聚酯涂料的耐污染性比丙烯酸差很多。最近，为了防止大气污染，规定各工厂排出空气中的有机溶剂量一定要在限度以内。因此，为了利用原来的涂装设备，就改用溶剂含量少的高固体分涂料。但用丙烯酸树脂做高固体分涂料在树脂结构上受到限制，而聚酯树脂最适于做高固体分涂料，这种涂料涂装时的加热残留量可减少 70% 以上。至于耐污染性，用于电冰箱能在最低限度内符合要求，其他性能也能满足。其烘干条件为 160 ~ 170℃，20min。

（4）热固性丙烯酸粉末涂料和热固性聚酯粉末涂料　作为无公害涂料，粉末涂料用于电冰箱的涂装工程的需求量与日俱增。粉末涂料涂装设备必须采用经改进的新的设备。粉末涂料的优点是无溶剂中毒发生，耐蚀性好，能形成坚韧的涂膜，静电喷涂后，在 170 ~ 180℃下固化 20min，得到丰满感好的涂膜。最近为了节省能量，出现了可在 150 ~ 160℃下固化 20min 的粉末涂料。另一方面，粉末涂装的缺点是换色困难，生产效率低，以及价格较贵。以上各种涂料的涂膜性能见表 5-27。

**表 5-27　电冰箱外壳用涂料的涂膜性能**（冷轧钢 0.8mm，磷化处理）

| 试验项目 | 高温溶剂型丙烯酸 | 中温溶剂型丙烯酸 | 高温溶剂型聚酯 | 丙烯酸粉末 | 聚酯粉末 | 试验方法 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 烘干条件 | 170℃ 20min | 140℃ 20min | 170℃ 20min | 170℃ 20min | 170℃ 20min | |
| 膜厚/μm | 30 ~ 35 | 30 ~ 35 | 30 ~ 35 | 40 ~ 60 | 40 ~ 60 | |
| 光泽（%） | 85 | 85 | 85 | 90 | 90 | |
| 硬度（铅笔） | 3 ~ 4H | 2 ~ 3H | 2H | 2 ~ 3H | 1 ~ 2H | |
| 附着力 | 100/100 | 100/100 | 100/100 | 100/100 | 100/100 | |
| 杯突试验/mm | 4 | 5 | 5 | 7 | 9 | |
| 冲击 | 30 | 30 | 40 | 50 | 50 | 500g |
| 耐盐雾性/h | 700 | 400 | 400 | 800 | 500 | |
| 耐潮性/h | 1000 | 1000 | 500 | 1000 | 500 | 50℃，相对湿度 100% |
| 耐沸水性/h | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | |

（续）

| 试验项目 | 高温<br>溶剂型<br>丙烯酸 | 中温<br>溶剂型<br>丙烯酸 | 高温<br>溶剂型<br>聚酯 | 丙烯酸<br><br>粉末 | 聚酯<br><br>粉末 | 试验方法 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 附着力<br>杯突<br>冲击 | 100/100<br>4<br>20 | 100/100<br>4<br>20 | 100/100<br>4<br>30 | 100/100<br>6<br>40 | 100/100<br>6<br>40 | |
| 耐碱性/h | 72 | 72 | 72 | 200 | 200 | 20℃，5% NaOH |
| 耐酸性/h | 72 | 72 | 72 | 200 | 200 | 20℃，5% HCl |
| 耐盐水性/h | 300 | 300 | 300 | 500 | 500 | 20℃，5% NaCl |
| 耐污染性 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 涂油墨，24h 后用甲醇/二甲苯擦拭 |
| 耐杀菌灯试验 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 100V，15W |
| 气候箱试验 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 30cm，16h |

### 5.11.5　电冰箱的涂装工艺是什么?

电冰箱涂装工艺见表 5-28 和表 5-29。

**表 5-28　电冰箱典型涂漆工艺（一）**

| 序号 | 工艺过程 | 涂　　料 | 方　　法 |
|---|---|---|---|
| 1 | 脱脂 | | |
| 2 | 磷化 | 薄膜型磷酸锌系 | |
| 3 | 干燥 | | 70℃ |
| 4 | 涂底漆 | 环氧酯底漆 | 静电喷涂或手工喷涂 |
| 5 | 烘干 | | 120℃，1h |
| 6 | 涂面漆 | 热固性丙烯酸面漆 | 静电喷涂或手工喷涂 |
| 7 | 放置 | | 5～10min |
| 8 | 烘干 | | 160℃，20min |

**表 5-29　电冰箱典型涂漆工艺（二）**

| 序号 | 工艺过程 | 涂　　料 | 方　　法 |
|---|---|---|---|
| 1 | 脱脂 | | |
| 2 | 磷化 | 薄膜型磷酸锌系 | |
| 3 | 干燥 | | 70℃ |
| 4 | 喷涂粉末涂料 | 丙烯酸或聚酯粉末 | 静电喷涂 |
| 5 | 烘干 | | 170～180℃，20min |

1）表面预处理必须使涂装面干净，以提高涂层的附着力。因此，铁板底材用磷化处理。锌盐磷化可得到灰色均匀细致的薄层磷酸盐膜，磷化后水洗和干燥，并尽快涂止底漆。如需用粉末涂料，则可直接喷涂粉末涂料。

2）电冰箱部件均为平板，适合采用自动静电喷涂。为了提高静电环抱效果和使涂料得到最佳的微粒，应添加如乙二醇、丁醚等高沸点溶剂，控制适当的粘度和喷漆量。喷涂室的温度、风速、风向等也要加强管理，以便获得良好的喷涂效果。

3）为了防止外界粉尘的影响，喷涂室应完全隔离，并通入经过滤的清洁空气。室内顶板、壁和地面定期用吸尘机滑扫。

4）自动喷涂没有喷上的部位，可用手工补喷涂，以保证烘干后得到合格的产品。

5）应严格控制烘干温度和时间，烘干室的温度应尽量均匀。当烘干固化不完全时，耐污染性、耐腐蚀性及涂层机械性能等均会降低；相反，涂层会变色和老化。丙烯酸涂料的耐污染性、耐溶剂性与固化程度成一定的比例。因此，在涂装线烘道出来的完全冷却的涂膜用口红等污染，再用含甲苯的棉花在涂膜上轻轻擦拭，观察其光泽，即可判断其固化程度。

6）当采用粉末静电喷涂时，除严格控制静电电压、供粉量外，输粉用压缩空气要经过油水分离器以去除空气中的水分和油污。

## 5.12　农用车涂装工艺

### 5.12.1　农用车涂装有什么特点？

农用机械是农村、山区或矿区的主要作业工具，主要包括拖拉机、农用三轮车、农用四轮车和收割机等。最近几年发展起来的农用汽车，因其物美价廉适合于个体业主，迅速成为城镇、乡村之间的客货运输工具之一。

由于农用车在使用过程中极少进行清洗。使用环境恶劣、使用条件苛刻，因此农用车涂装对涂层的装饰性要求远比汽车低，但对涂膜的耐蚀性和耐候性要求较高。农用产品零部件的涂装工艺与载重汽车零部件的涂装工艺相似。年产量达 20 万台以上的工厂，一般采用流水线生产。随着涂装材料及涂装技术不断进步和发展，农用产品涂装工艺已有了很大的改进，有些已采用汽车涂装工艺及材料，提高了涂膜质量，满足了用户要求。

### 5.12.2　农用机械的涂装工艺是什么？

农用机械的涂装工艺见表 5-30。

### 5.12.3　农用产品涂装中涂层如何标记？

农用产品涂装按 JB/T 5673—1991《农林拖拉机及机具涂装 通用技术条件》的分类标准选择涂料。拖拉机、收获机、农用车的车身、机罩及挡风板等部件的涂装要求几乎与载重汽车相同。该标准根据农林拖拉机及机具各种零部件的作业环境条件和涂装质量要求的不同，将涂层分为 5 类 14 种，见表 5-31。

**表 5-30　农业机械涂装工艺**

| 工艺组别 | 大批量流水线生产方式 | | 小批量间歇式生产方式 | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 涂装表面预处理 | 1）脱脂除锈二合一（浸）<br>2）水洗（喷，温度同除锈工序）<br>3）中和：5% $Na_2CO_3$ 溶液（浸）<br>4）水洗（喷）<br>5）锌盐磷化（喷或浸）<br>6）水洗（喷）<br>7）水洗（喷）<br>8）滴干（或压缩空气吹） | 1）预脱脂（喷）<br>2）脱脂（浸）<br>3）水洗<br>4）酸洗（浸，活化和除锈）<br>5）水洗<br>6）中和浸 $Na_2CO_3$ 溶液<br>7）水洗<br>8）去离子水洗（浸-喷） | 1）手工清理油污和浮锈<br>2）吹掉灰尘 | 1）手工清理油污和浮锈<br>2）吹掉灰尘<br>3）喷一道磷化底漆<br>4）自干 1h |
| 涂底漆 | 9）阳极电泳（聚丁二烯）<br>10）电泳后 3～4 段冲洗<br>11）滴干水珠<br>12）烘干（160～170℃，20～30min）<br>13）冷却 | 9）浸自泳涂料（丙烯酸或偏氯乙烯）<br>10）水洗<br>11）铬酸封闭<br>12）滴干<br>13）烘干：160℃，30min<br>14）冷却 | 3）喷涂双包装环氧带锈涂料<br>4）自干 10～24h | 5）喷一道过氯乙烯底漆<br>6）间隔 2h<br>7）再喷一道过氯乙烯底漆<br>8）自干 3h |
| 涂面漆 | 14）湿碰湿喷两道氨基烘漆<br>15）晾干 8～10min<br>16）烘干：130～140℃，30min<br>17）冷却<br>18）检查 | 15）湿碰湿两道氨基烘漆<br>16）晾干 8～10min<br>17）烘干：130～140℃，30min<br>18）冷却<br>19）检查 | 5）喷一道醇酸面漆<br>6）自干 10～14h<br>7）再喷一道醇酸面漆<br>8）自干 16～24h<br>9）检查 | 9）喷 3～4 道过氯乙烯面漆，喷涂间隔 2～3h<br>10）检查 |

**表 5-31　涂层的标记分类**

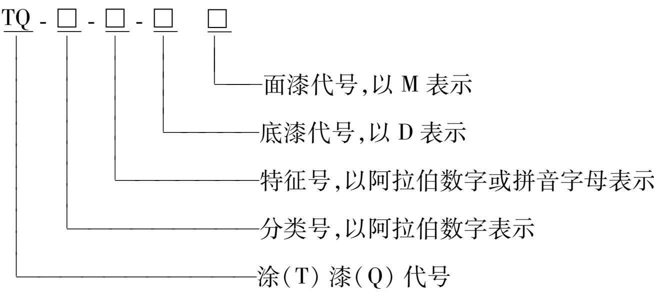
| 分类名 | 分类号 | 特征号 | 涂层标志 | 使用环境 | 特　　性 | 应用范围举例 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 优质耐候涂层 | 1 | 1 | TQ-1-1-×× | 湿热带、温带地区 | 优质装饰保护性涂层 | 驾驶室，机罩总成，挡风板、粮仓，以及上述总成使用零件和外观耐候性，装饰性要求相同的中小零件 |
| | | 2 | TQ-1-2-×× | 温带地区 | 装饰保护性涂层 | |
| | | 3 | TQ-1-3-×× | 湿热带地区 | | |

（续）

| 分类名 | 分类号 | 特征号 | 涂层标志 | 使用环境 | 特　　性 | 应用范围举例 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 普通耐候涂层 | 2 | 1 | | 湿热带、温带等气候地区 | 优质保护性涂层 | 一般外露表面 |
| | | 2 | TQ-2-2-×× | 温带地区 | 保护性涂层 | |
| | | 3 | TQ-2-3-×× | 湿热带地区 | 保护性涂层 | |
| 耐化学药品涂层 | 3 | SJ | TQ-3-SJ-×× | | 耐酸或耐碱涂层 | 蓄电池及其托架等 |
| | | NY | TQ-3-NY-×× | | 耐农药涂层 | 植保机械接触农药的表面 |
| | | F | TQ-3-F-×× | | 耐化肥涂层 | 施肥机械的表面 |
| 耐水涂层 | 4 | SM | TQ-4-SM-×× | 经常与泥水接触的工作环境 | 耐水耐磨涂层 | 工作时经常接触泥水，且防蚀性要求较高的零部件 |
| | | SC | TQ-4-SC-×× | | 耐水耐潮涂层 | |
| 其他涂层 | 5 | JY | TQ-5-JY-×× | | 耐机油涂层 | 经常接触油类的零部件，如齿轮箱内表面等 |
| | | R | TQ-5-R-×× | | 耐热涂层 | 排气管部分、高温快速型烘干机混流室等 |
| | | M | TQ-5-M-×× | | 木用涂层 | 拖车木制栏板、割草机拉杆、收割机幅板、插秧机船底板等 |

产品设计应根据使用环境和涂层质量要求，在设计要求中应注明涂层代号标记或涂层质量要求，以便涂装工艺人员设计涂装工艺和涂料选择。

涂层的标记方法规定如下：




标记示例：

要求涂底漆和面漆，适用于温带地区的装饰保护性涂层的标记为

TQ-1-2-DM　　JB/T 5673

要求涂底漆的耐机油涂层的标记为

TQ-5-JY-D　JB/T 5673

标记示例：要求涂底漆和面漆，适用于温带地区的装饰保护性涂层的标记为：TQ-1-2-DM　JB/T 5673；要求涂底漆的耐机油涂层的标记为：TQ-5-JY-D　JB/T 5673。

### 5.12.4　农用车涂层有什么技术要求？

1. 一般要求

1）涂装前必须全部经过表面预处理。表面预处理后表面应达到无油污、无锈斑、无氧化皮、无粘砂、无焊渣、无酸碱等残留物。

2）涂装前经磷化处理的钢铁件应符合 GB/T 6807—2001 的有关规定。

3）涂装施工场所的温度与湿度应与涂料的施工条件相适应，施工环境应符合国家环境保护法的有关规定。

4）两色漆交界处的界限必须平整明显，不得有相互交错现象。

5）产品出厂前，涂层不得有碰伤、露底、剥落、发粘、脆裂、气泡及变色等缺陷。

2. 各类涂层质量要求

各涂料涂层的主要质量指标见表 5-32。

**表 5-32　各涂料涂层的主要质量指标**

| 涂层标志 | 涂层特性 | 涂层的主要质量指标 | 用途举例 | 备　注 |
|---|---|---|---|---|
| TQ-1-1-×× | 优质装饰保护性涂层，涂膜具有优良的耐候性、耐水性和机械强度。可达到防霉、防潮、防盐雾的要求，适用于湿热带、温带气候地区 | 1）涂膜外观　丰满、光滑平整、颜色均匀，涂膜光泽不低于 90%，外观表面不允许有颗粒，桔皮<br>2）涂膜厚度　底涂层不低于 15μm，面涂层不低于 40μm，总厚度不低于 55μm<br>3）机械强度　冲击强度 490N · cm，柔韧性 1mm，硬度不低于 2H，附着力Ⅰ ~ Ⅱ级<br>4）耐候性　出厂一年半内，涂膜应完整，不起泡、不脱落、不粉化、不生锈、不开裂<br>5）耐水性　通过 12 个循环不应起泡<br>6）耐盐水性　通过 8 个循环不应起泡<br>7）耐盐雾性　通过 10 个循环不应起泡 | 驾驶室及其总成使用零件和外观耐候性、装饰性要求相同的中小零件 | 对照标准样板目测比较<br>耐水性的循环：浸泡在（50 ± 1）℃的蒸馏水中 8h，然后停止加热，自然降温 16h 为 1 个循环，按 GB/T 771—2007 测定 |

（续）

| 涂层标志 | 涂层特性 | 涂层的主要质量指标 | 用途举例 | 备　注 |
|---|---|---|---|---|
| TQ-1-2-×× | 装饰保护性涂层，涂膜具有较好的耐候性和良好的机械强度。适用于温带气候地区，不宜用于湿热带气候地区 | 1）涂膜外观　丰满，光滑平整，颜色均匀，不允许有涂膜缺陷，涂膜光泽不低于85%<br>2）涂膜厚度　底涂层不低于15μm，面涂层不低于35μm，总厚度不低于50μm<br>3）机械强度　冲击强度490N·cm，柔韧性1mm，硬度不低于HB，附着力Ⅰ～Ⅱ级<br>4）耐候性　出厂1年内，涂膜应完整，不起泡、不生锈、不开裂、不脱落，不允许严重失光或变色，允许轻微粉化<br>5）耐水性　通过10个循环不应起泡<br>6）耐盐水性　通过5个循环不应起泡<br>7）耐盐雾性　通过8个循环不应起泡 | 车厢及其总成用零件和外观、耐候性、装饰性要求相同的中小零件 | 分别按<br>GB 1732—1993<br>GB 1731—1993<br>GB 1730—2007<br>GB 1720—1979<br>测定 |
| TQ-1-3-×× | 装饰保护性涂层，涂膜具有较好的耐候性和防霉、防潮、防盐雾性，机械强度稍差。适用于湿热带气候地区 | 1）涂膜外观、涂膜厚度和耐候性与TQ-1-2相同，涂膜光泽不低于80%<br>2）机械强度　冲击强度不小于392N·cm，柔韧性2mm，硬度不低于H，附着力Ⅱ级<br>3）耐水性　通过12个循环不应起泡<br>4）耐盐水性　通过6个循环不应起泡<br>5）耐盐雾性　通过8个循环不应起泡 | | 耐盐水性的循环：浸泡在20～25℃质量分数为3%氯化钠水溶液中24h，为1个循环 |
| TQ-2-1-×× | 优质保护性涂层，涂膜具有较好的耐候性和机械强度，适用于温热带、温带气候地区 | 1）涂膜外观　光滑平整，颜色均匀，不允许露底漆，无明显涂膜缺陷<br>2）涂膜总厚度　不低于45μm<br>3）机械强度　与TQ-1-1相同<br>4）耐候性　与TQ-1-2相同 | | |

（续）

| 涂层标志 | 涂层特性 | 涂层的主要质量指标 | 用途举例 | 备　注 |
|---|---|---|---|---|
| TQ-2-1-×× | 优质保护性涂层，涂膜具有较好的耐候性和机械强度，适用于温热带、温带气候地区 | 5）耐水性　通过 10 个循环不应起泡<br>6）耐盐雾性　通过 6 个循环不应起泡<br>7）耐机油性　浸泡在（80 ± 1)℃的 HCA-14 号柴油机润滑油中，通过 2 个循环不应起泡 | | |
| TQ-2-2-×× | 保护性涂层，涂膜具有较好的耐候性和良好的机械强度。适用于温带气候地区 | 1）涂膜外观和耐机油性　与 TQ-2-1 相同<br>2）涂膜总厚度　不低于 40μm<br>3）耐候性　出厂 9 个月内，涂膜应完整，不起泡、不粉化、不生锈、不开裂<br>4）机械强度和耐水性　与 TQ-1-2 相同 | | |
| TQ-2-3-×× | 保护性涂层，适用于温热带气候地区 | 1）涂膜外观、耐机油性与 TQ-2-1 相同，耐候性、涂膜总厚度与 TQ-2-2 相同<br>2）机械强度　冲击强度不小于 392N · cm，柔韧性 2mm，硬度不低于 H，附着力不低于Ⅲ级<br>3）耐盐水性　通过 3 个循环不应起泡<br>4）耐水性　通过 10 个循环不应起泡<br>5）耐盐雾性　通过 2 个循环不应起泡 | | |
| TQ-3-SJ-×× | 一般保护性涂层，涂膜外观较 TQ-1 差，适用于温热带气候地区 | 1）涂膜外观　光滑平整、均匀、无针孔、无麻点，不允许露底或漏涂，无明显涂膜缺陷<br>2）涂膜总厚度、机械强度、耐水性、耐盐水性、耐盐雾性与 TQ-2-3 相同<br>3）耐酸性（耐酸涂层）　通过 3 个循环涂膜应无变化<br>4）耐碱性（耐碱涂层）　通过 3 个循环涂膜应无变化 | | |

（续）

| 涂层标志 | 涂层特性 | 涂层的主要质量指标 | 用途举例 | 备　注 |
|---|---|---|---|---|
| TQ-3-NY-×× | 一般保护性涂层，耐湿热性较 TQ-3-1 差，适用于温带气候地区 | 1）涂膜外观　与 TQ-3-SJ 相同<br>2）涂膜总厚度　不低于 75μm<br>3）耐农药性　合格 | | |
| TQ-3-F-×× | | 1）涂膜外观　平整光滑、均匀，不允许涂膜缺陷<br>2）涂膜总厚度　不低于 50μm<br>3）耐化肥性　24h 涂膜应无明显变化 | | |
| TQ-4-SM-×× | | 1）涂膜外观　均匀，不允许涂膜缺陷<br>2）涂膜总厚度　不低于 70μm<br>3）机械强度　冲击强度 490N·cm，柔韧性 1mm，附着力不低于Ⅱ级<br>4）耐水性　通过 12 个循环不应起泡<br>5）耐磨性　12.25N，磨转 500 次，涂膜失重不应超过 40mg | | |
| TQ-4-SC-×× | | 1）涂膜外观　平整、均匀，不允许有涂装缺陷<br>2）涂膜总厚度　不低于 40μm<br>3）机械强度　与 TQ-4-SM 相同<br>4）耐水性　通过 12 个循环不应起泡 | | |
| TQ-5-JY-×× | | 1）涂膜外观　平整、均匀，不允许有涂膜缺陷<br>2）涂膜总厚度　不低于 15μm<br>3）机械强度　冲击强度、柔韧性、硬度、附着力应达到选用涂料的指标<br>4）耐机油性　通过 40 个循环无变化 | | |

（续）

| 涂层标志 | 涂层特性 | 涂层的主要质量指标 | 用途举例 | 备　注 |
|---|---|---|---|---|
| TQ-5-R-×× | | 1）涂膜外观　平整、均匀，不允许有涂装缺陷<br>2）涂膜总厚度　不低于（50±5）μm<br>3）涂膜耐热性　（500±10）℃受热 24h，涂膜应完整，允许失光变暗<br>4）涂膜受热后耐盐雾性（500±10）℃受热 24h，耐盐雾试验 4 个循环，涂膜应完整，无锈蚀，不起泡<br>5）涂膜受热后的防潮性（500±10）℃受热 24h，耐湿热试验 4 个循环，涂膜应完整，无锈蚀，不起泡 | | |
| TQ-5-M-×× | 属于防腐蚀涂膜对木制品具有良好的渗透性 | 1）涂膜外观　平整、均匀，不允许涂膜缺陷<br>2）涂膜总厚度　不低于 30μm | | |

注：在对应的标准条件规定下试验 24h 为 1 个循环。

### 5.12.5　农用车车身及其部件的涂装工艺是什么？

综合国内各农用产品制造厂家的车身涂装体系，一般采用两层涂装体系。虽然各厂的涂装用材不同、现场施工条件和对质量的要求不同，但涂装工艺过程基本大同小异。

车身长度在 4m 以内，有混流生产条件的拖拉机覆盖件、收获机外罩等部件涂装时参照两层涂装体系的涂装工艺（见表 5-33）进行涂装。

**表 5-33　车身及其部件的涂装工艺流程**

| 工序名称 | 处理方式 | 工 序 内 容 | 工艺参数 | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 温度 | 时间/min | |
| 检查 | 目视 | 检查进入涂装车间的待涂件质量：应无严重黄锈，表面平整，无焊接飞溅物 | | | |
| 预擦洗 | 手工擦洗 | 手工预擦洗不易除掉的污物，如油泥、拉延油等 | 常温或 70℃ | 视情况定 | 如果待涂件表面清洁，可不设本工序 |
| 预清洗 | 喷 | 初步清洗掉表面的灰尘、重油及金属铁屑 | 70℃ | 2.5 | |

（续）

| 工序名称 | 处理方式 | 工序内容 | 工艺参数 | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 温度 | 时间/min | |
| 预脱脂 | 喷 | 进一步清洗掉表面的油污 | 45～55℃ | 2 | |
| 脱脂 | 喷 | 彻底清洗掉表面的油污 | 45～55℃ | 2 | |
| 水洗 | 喷 | 清洗掉表面的残余脱脂液 | 常温 | 1 | |
| 二合一 | 浸 | 去除表面上的浮锈及轻微油污 | 50～60℃ | 7 | 根据待涂件表面锈蚀程度，可不设本工序 |
| 水洗 | 浸 | （浸入即出）清洗掉表面的残酸 | 常温 | 1 | |
| 中和 | 喷 | 去除工件夹缝内残酸 | 常温 | 1 | |
| 水洗 | 喷 | 清洗掉表面的残留物 | 常温 | 1 | |
| 表调 | 喷 | 活化、调整金属基体的表面，以形成疏密均匀的磷化膜 | 常温 | 1 | |
| 磷化处理（低温） | 浸喷 | 使工件表面形成结晶均匀致密的银灰色或浅灰色磷化膜 | 35～45℃ | 4 | |
| 水洗（浸入即出） | 浸喷 | 清洗掉表面的残余磷化液 | 常温 | 1 | |
| 水洗 | 喷 | 用下道工序的循环去离子水清洗 | 常温 | 1 | |
| 循环去离子水洗 | 喷 | 用下道工序的去离子水清洗 | 常温 | 1 | |
| 新鲜去离子水洗 | 喷 | 用新鲜去离子水清洗 | 常温 | 50s | |
| 吹积水 | | 用洁净压缩空气吹净表面积水 | 常温 | 4 | |
| 阳极电泳底漆 | 浸 | 在计量好电压及时间下，形成电泳膜 | (24±4)℃ | 3～3.5 | |
| 槽上水洗 | 喷 | 用UF液或去离子水清洗掉浮漆 | 常温 | 10s | |
| 一次UF水洗 | 喷 | 用循环UF液冲洗 | 常温 | 1 | |
| 新鲜UF水洗 | 喷 | 用新鲜UF水洗冲洗 | 常温 | 1 | |
| 循环去离子水洗 | 喷 | 用循环去离子水洗冲洗 | 常温 | 1 | |
| 新鲜去离子水洗 | 喷 | 用新鲜去离子水冲洗 | 常温 | 1 | |
| 晾干 | | 自然晾干涂面的水滴 | 常温 | 4 | |
| 烘干 | 热风对流 | 在175～180℃下烘干20min，自然冷却 | 175～180℃ | 25 | 20min为车身保温时间 |

（续）

| 工序名称 | 处理方式 | 工 序 内 容 | 工艺参数 | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 温度 | 时间/min | |
| 检查 | 目测法 | 技术检查：表面质量、干燥程度、膜厚 | 常温 | | 干燥程度用溶剂擦拭法，膜厚用测厚仪 |
| 喷涂面漆 | 手工 | 采用湿碰湿工艺喷涂面漆：<br>手工喷涂车身内表面；手工喷涂第一道面漆或底色漆；晾干；手工喷涂第二道面漆或底色漆 | 18～28℃ | 3～5 | 本喷涂面漆工艺适用于金属闪光和珠光色面漆，一次喷涂干面漆涂膜厚度达（40±5）μm |
| 流平 | | 使湿涂膜均匀流平 | 常温 | 8 | |
| 烘干 | 热风对流 | 在 135～140℃下烘干 20min，自然冷却 | 140℃ | 25 | 20min 为车身保温时间 |
| 检查 | 目测有关仪器 | 最终检查：100%检查涂层的外观质量、膜厚、干燥程度。合格品发往总装；不合格送往返修或小修补漆 | | | 涂层的外观质量包括光泽度、桔皮及存在的外观缺陷 |

### 5.12.6　农用车车厢及其部件的涂装工艺是什么?

车厢的使用条件决定了其涂层属于防护装饰性涂层。目前生产企业大都采用电泳底漆，以防使用过程中夹缝淌黄锈涂装标准一般比车身低一档。大多车厢及其部件的涂装工艺流程见表 5-34。

**表 5-34　车厢及其部件的涂装工艺流程**

| 工序名称 | 处理方式 | 工 序 内 容 | 工艺参数 | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 温度/℃ | 时间/min | |
| 检查 | 目视 | 检查进入涂装车间的待涂件质量：平整度和轮廓应符合设计图样要求，应无严重的黄锈，表面平整、无焊接飞溅物 | | | |
| 预清洗 | 喷 | 初步清洗掉表面的灰尘、重油及金属铁屑 | 70 | 2.5 | |
| 预脱脂 | 喷 | 进一步清洗掉表面的油污 | 45～55 | 2 | |
| 脱脂 | 喷 | 彻底清洗掉表面的油污 | 45～55 | 2 | |
| 水洗 | 喷 | 清洗掉表面的残余脱脂液 | 常温 | 1 | |
| 水洗 | 喷 | 彻底清洗掉表面的残留物 | 常温 | 1 | |

（续）

| 工序名称 | 处理方式 | 工 序 内 容 | 工艺参数 | | 备　　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 温度/℃ | 时间/min | |
| 磷化处理（常温） | 浸喷 | 使工件表面形成结晶均匀致密的磷化膜 | >10 | 4 | 锌铁系磷化 |
| 水洗（浸入即出） | 浸喷 | 清洗掉表面的残余磷化液 | 常温 | 1 | |
| 水洗 | 喷 | 用下道工序的循环去离子水清洗 | 常温 | 1 | |
| 循环去离子水洗 | 喷 | 用下道工序的去离子水清洗 | 常温 | 1 | |
| 新鲜去离子水洗 | 喷 | 用新鲜去离子水清洗 | 常温 | 50s | |
| 吹积水 | | 用洁净压缩空气吹净表面积水 | 常温 | 4 | |
| 阳极电泳底漆 | 浸 | 在计量好电压及时间下，形成电泳膜 | 24±4 | 3~3.5 | |
| 槽上水洗 | 喷 | 用UF液或去离子水清洗掉浮漆 | 常温 | 20s | |
| 一次UF水洗 | 喷 | 用循环UF液冲洗 | 常温 | 1 | |
| 新鲜UF水洗 | 喷 | 用新鲜UF水洗冲洗 | 常温 | 1 | |
| 循环去离子水洗 | 喷 | 用循环去离子水洗冲洗 | 常温 | 1 | |
| 新鲜去离子水洗 | 喷 | 用新鲜去离子水冲洗 | 常温 | 1 | |
| 晾干 | | 自然晾干漆面的水滴 | 常温 | 4 | |
| 烘干 | 热风对流 | 在175~180℃下烘干20min，自然冷却 | 175~180 | 25 | 20min为车身保温时间 |
| 检查 | 目测法 | 技术检查：表面质量、干燥程度、膜厚 | 常温 | | 干燥程度用溶剂擦拭法，膜厚用测厚仪 |
| 喷涂面漆 | 手工 | 采用湿碰湿工艺喷涂面漆：喷涂第一道面漆或底色漆；晾干；手工喷涂第二道面漆或底色漆 | 常温 | 3~5 | 本喷涂面漆工艺适用于金属闪光和珠光色面漆，一次喷涂面漆干涂膜厚度达（40±5）μm |
| 流平 | | 使湿涂膜均匀流平 | 常温 | 10 | |
| 烘干 | 热风对流 | 在135~140℃下烘干20min，自然冷却 | 140 | 25 | 20min为车身保温时间 |

（续）

| 工序名称 | 处理方式 | 工 序 内 容 | 工艺参数 | | 备　　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 温度/℃ | 时间/min | |
| 检查 | 目测有关仪器 | 最终检查：100% 检查涂层的外观质量、膜厚、干燥程度。合格品发往车厢组装线；不合格送往返修或小修补漆 | | | 涂层的外观质量包括光泽度、桔皮及存在的外观缺陷 |

### 5.12.7　农用车车架及各种托架的防腐蚀涂层的涂装工艺是什么?

车架、脚踏板、挡泥板及各种托架等零部件都是车下部件，经常与泥水接触，使用条件苛刻，要求涂层有较好的耐蚀性，即具有优良的耐盐雾性、耐水性和机械强度。车架、脚踏板、挡泥板及各种托架等零部件一般由热轧钢材制造而成，其表面有氧化皮及黄锈，涂装前应除去。

工艺流程：上挂→抛丸处理→清理浮尘→浸涂 + 流平→去余漆→烘干→检查→下挂。

主要工位的作用如下。

（1）抛丸处理　清除工件表面的氧化皮、黄锈及加工过程中带来的油污。

（2）清理浮尘　清理掉工件表面的浮尘，防止影响涂膜性能。

（3）浸涂　将工件浸没在浸涂槽内 1 ~ 2min，控制涂料粘度 20 ~ 30s（涂 - 4 粘度计，25℃），施工温度 20 ~ 30℃，一次浸涂涂膜厚度为 25 ~ 40μm。

（4）流平　使湿涂膜均匀流平。

（5）去余漆　用刷子刷掉余漆或 0.3 ~ 0.4MPa 压缩空气吹落余漆。

（6）烘干　使涂膜在 135 ~ 140℃下烘干 20min，自然冷却。

（7）检查　100% 检查涂层的光泽度、桔皮、厚度及存在的外观缺陷及干燥程度。

## 5.13　摩托车涂装工艺

### 5.13.1　摩托车用涂料的选择原则是什么?

摩托车作为户外使用的主要交通工具之一，室外环境条件对涂层的影响很大。因此在选择摩托车用涂料时，应充分考虑涂料的耐寒、耐候、耐湿热、耐盐雾、耐腐蚀、耐油、耐水、耐溶剂、耐磨和抗冲击性等。摩托车被涂件一般有三类材质即钢铁（车架、油箱等）、铝件（发动机）、塑料（护板、踏板等），应根据不同的材质选用相应的配套涂料。从施工条件看，包括手工简易条件和自动流水线成套设备条件两种情况，前者可考虑选用自干涂料和低温快干涂料，后者可根据涂装设备不同，选用不同品质的烘漆。

### 5.13.2　摩托车涂装用底漆的选择原则是什么?

环氧树脂底漆是常用的底漆涂料，常用品种有铁红环氧酯底漆、锌黄环氧酯底漆和灰色改性环氧底漆等。涂膜对金属底材具有极佳的附着力、耐水性和耐蚀性。灰色改性

环氧底漆可同时适用于钢铁件和铝合金件，因此，该涂料可适用于摩托车钢铁件及发动机铝合金件的表面打底。锌黄环氧酯底漆适用于摩托车发动机铝合金零部件的表面打底，如发动机边盖、箱体、汽缸头等。因灰色改性环氧底漆可同时适用于钢铁件和铝合金件，所以锌黄环氧酯底漆在摩托车上的使用日益减少。

PP制品在所有塑料件中用量最大，在汽车零部件中大量应用。近年来，PP在摩托车零部件中也开始采用。PP结晶度高，耐溶剂性强，表面极性和表面能低，涂膜附着困难，因此要得到良好性能的涂层，必须进行适当的表面改性处理并采用配套的底漆喷涂。为达到与PP底材的良好附着，底漆应具有与底材相似的分子结构、近似的溶解度参数，因此PP底材采用的成膜树脂为氯化丙烯酸树脂或改性氯化丙烯酸树脂体系。

电泳底漆近年来在摩托车涂装中也逐步得到应用，如使用阴极电泳涂料涂装车架或部分金属零部件等。

### 5.13.3　摩托车涂装用面漆的选择原则是什么？

摩托车面漆应具有良好的光泽度、流平性、丰满度、透明性和鲜艳度等，保证摩托车具有高质量的外观，提高产品的品位。面漆应具有良好的耐候性，以免涂层早期失光、褪色、粉化，直接影响摩托车的装饰性和涂层的使用寿命。应保证涂膜在南方沿海湿热地区长期曝晒后（摩托车行驶里程不少于10000km），只允许轻微失光和变色。涂膜应具有良好的力学性能，如硬度、抗冲击性，以保证行驶过程中砂石的摩擦和冲击；涂膜应具有一定的耐酸碱性和耐汽油性，以保证禁得起化学品的污染和腐蚀；涂膜应有一定的耐温变性，以防止在温度变化较大时涂膜开裂，尤其是发动机面漆必须防止涂膜变色或软化；面漆还应具有良好的施工性能，能适应不同的施工条件，如空气喷涂、静电喷涂、手工喷涂或自动喷涂、湿碰湿或一喷一烘工艺等；此外，面漆还应具有返工性好、打磨性好和涂层间附着力好等特性。

根据以上要求，国内摩托车金属件一般选用热固性氨基丙烯酸树脂涂料或双组分丙烯酸多异氰酸酯涂料为面漆，前者固化温度为120～160℃，固化时间为30min，后者常温干燥。从品种上看，有清漆、透明色漆、特黑涂料和亚光、闪光、珠光涂料等。

摩托车金属件罩光清漆常用的有氨基丙烯酸烘清漆和氨基聚酯烘清漆。摩托车塑料件主要为ABS、PVC和尼龙等，这些零部件的涂装主要选用单组分热塑性丙烯酸涂料与双组分羟基丙烯酸/聚氨酯涂料两大类。UV涂料如不饱和聚酯、丙烯酸聚酯、丙烯酸聚氨酯和丙烯酸环氧酯等，近几年在塑料件上的用量增长很快。

粉末涂料在摩托车支架、部分发动机边盖和箱体等涂装中大量使用。但应当特别注意粉末涂装大多用于零部件毛坯喷涂，以避免成品喷涂时机加工面的保护问题。另外，粉末涂装返修件的处理比较麻烦，重涂后涂层过厚，脱漆较溶剂型涂料困难。

此外，近年来还有采用粉末涂料和溶剂性涂料相结合的涂装方法，即先进行粉末涂装，再进行溶剂性涂料涂装。这种涂装工艺的前提是粉末涂料和溶剂性涂料配合要好，性能要相似，涂层间的结合力良好。

### 5.13.4　摩托车涂装部件主要包括哪些？

摩托车涂装的过程根据涂装部件种类的不同而有所不同。摩托车涂装部件主要分为油箱、车架、塑料覆盖件和发动机四大类。

### 5.13.5　摩托车油箱涂装工艺有什么要求和特点?

摩托车油箱的涂装工艺系装饰性、保护性多层涂装，是摩托车涂装中工序最多、涂装质量最高的工艺。基本工艺流程分为涂装前脱脂除锈、磷化、表面预处理包括脱脂、除锈、表调、磷化、钝化和烘干。

1. 喷涂预处理

预处理包括喷涂、烘干和贴花罩光五大部分。

预处理中其他工艺与上述几种典型工艺差别不大，表面调整时，应选用通用性最好、应用最广的含钛表调剂，主要由胶体磷酸苯、碱金属盐和稳定剂等成分组成。

脱水烘干既可采用辐射，也可采用辐射对流，其工艺条件为 120℃ 下烘干 20min。但必须注意不管是浸渍方式还是喷淋方式，对油箱进行涂装前磷化处理后在烘干之前应进行检漏抽水，否则烘干过程中由于箱内积水会加速内腔磷化膜的锈蚀。

油箱空气喷涂浅灰环氧底漆施工工艺流程为：表面检查→隐蔽→除尘→涂底漆→晾干→烘干→冷却→打磨。

2. 底漆

底漆喷涂的工艺参数见表 5-35。

**表 5-35　底漆喷涂的工艺参数**

| 项　目 | 内　容 | 项　目 | 内　容 |
|---|---|---|---|
| 使用涂料 | 浅灰环氧底漆 | 空气喷枪类型 | W-71，W-77 |
| 稀料 | 二甲苯、丁醇 | 喷涂距离 | 200 ~ 300mm |
| 涂料过滤网 | 120 ~ 180 目 | 施工粘度 | 15 ~ 25s（涂 - 4 杯粘度计，25℃） |
| 空气压力 | 0.4 ~ 0.7MPa | | |

涂层在 140℃ 固化 30min 后，打磨（砂纸型号：粗打磨 180#砂布，细打磨 400# ~ 500#水砂纸）。

腻子一般涂刮在底漆上，使用聚氯乙烯塑料板、有机玻璃板或牛角制作的尺寸大小不一的刮板涂刮，如圆柱形表面采用橡胶制的软刮板涂刮。刮腻子要求较高，在操作时应注意以下几点。

1）在涂刮前腻子一定要拌匀，根据作业要求，腻子稠度应选择适当。

2）在涂刮时不要反复涂刮，以防卷边和表面封闭，影响腻子层的干燥。

3）腻子的涂刮厚度不应超过 0.5mm，环氧树脂腻子可略厚一些，涂刮过厚易产生表干里不干的现象。

4）在涂刮多层腻子的场合，应先局部填坑，再统刮。每层腻子应干透、打磨、擦净后再刮下一道腻子。为增强腻子层的强度与结合力，推荐采用一道腻子刮涂一道底漆的工艺，这样即使打磨过的腻子层的空隙中也渗透了底漆。

5）腻子层在烘干前应有较长的晾干时间，然后再逐渐升温，以防止烘干过急造成起泡。

摩托车一般也使用汽车用原子灰，根据喷涂工件、施工方法的不同选用不同的原子灰。常用原子灰的使用方法为：主剂与固化剂按 50∶1 的比例混合均匀使用。在洁净的

磷化膜上涂刮原子灰，或在经过打磨的底漆上涂原子灰，经45min干燥后即可打磨，水打磨、干打磨均可，打磨平整后，再将不平处或砂眼处以细灰修补，然后再磨平，上面喷涂底漆或面漆。

3. 面漆

油箱的面涂通常为2～3道，如湿碰湿两次实色面漆或一次铝粉一次透明红，再用UV或双组分聚氨酯清漆罩光。面漆应涂在确认涂层无缺陷且干透的底漆上，原则上施工两次，第一道面漆干透后再施工第二道，否则有可能产生咬底、渗色等涂膜缺陷。油箱湿碰湿施工透明红时，虽然铝粉涂层未干透，但应与透明红区分使用稀料。前者使用快干稀料，以使涂透明红之前达到表干，这样透明红施工完后晾干流平，进入固化室才不至于出现气泡、针眼等质量问题。

涂面漆一般采用空气喷涂或静电喷涂。既能适应小批量多品种的情况，又能满足大批量流水线作业的需要。

涂面漆时，应注意以下几个问题。

1）面漆调稀后要搅匀，用180～200目细筛网或3～4层纱布过滤，粘度符合工艺要求。

2）按面漆材料的特性、工艺要求及涂装机械的特性正确选用涂装设备。已涂面漆及其晾干场所应干净无尘。对于装饰性要求较高的场合，涂面漆应在有空调的喷涂室中进行，以确保涂层面无纤毛、颗粒并具有良好的展平性。

油箱喷涂面漆的工艺流程如下。底涂层检查→隐蔽除尘→手工、空气或静电喷涂铝粉涂料→补正→晾干→手工、空气或静电喷涂透明红涂料→补正→流平→涂膜固化→冷却→检验→贴花＋罩光。

静电涂装时，一般采用Ω型自动静电涂装线，喷涂工艺参数为：丙烯酸或聚酯铝粉涂料、透明红涂料等，电阻为5～50MΩ，施工粘度15～25s（涂－4杯粘度计，25℃），工件转动次数为3～4次，链速1.5～2.5m/min，圆盘转速不低于3000r/min，工作电压为80～90kV，升降速度5～25m/min，工作电流80～120μA，喷涂次数6次，室内温度25℃，相对湿度70%，工件与圆盘间距200～300mm，烘干固化条件为140～150℃、30min。

4. 贴花

贴花是在油箱涂完面漆后，以800～1000号水砂纸对其表面进行细打磨，打磨后应平整、光滑，不允许有砂纸纹和露底等疵病。经打磨合格的油箱用专用划线板，在油箱两侧指定位置划线，注意线条清晰、准确，不允许划伤涂膜。将彩条一端的硬纸揭开，以涂有胶粘剂的一面对准油箱划线位置，边揭边贴，直到平整贴完为止。彩条位置必须粘贴准确，不允许有皱纹、气泡等，否则应重新贴或用钢针修正。

为保护色漆层（或贴花），提高面涂层光泽及装饰性，面涂层的最后一道是涂清漆，这一工序称为罩光。油箱的罩光通常使用双组分聚氨酯清漆或紫外线光固化UV清漆罩光。现对UV涂料的施工工艺做简要介绍。油箱底面涂→烘干→打磨→除尘→喷UV清漆→（红外）流平→UV固化→检验。

5. 施工条件

摩托车涂装的施工条件如下：

1）油箱喷底、面漆的要求稀释后的面漆中必须加入 5% 以上的抛锚剂，而且对于不同品质的面漆均需试验抛锚剂的准确用量，以确保面漆与 UV 罩光漆之间的附着力。面漆表面必须平整，无严重桔皮。对于闪光涂料应特别注意不能喷得过薄，否则表面将有铝粉突起，使罩光涂料产生针眼等弊病。

2）对面漆干燥的要求面漆必须烘干固化完全。对于双组分面漆，建议出炉后放置 48h 后再罩光，否则会影响罩光涂膜的硬度，严重时甚至会出现涂膜收缩现象。

3）面漆的打磨用 800#以上的水砂纸流水打磨，尽可能去除涂膜表面的桔皮及粗糙麻点。

4）油箱表面的除尘首先用洁净无毛的软布擦干工件表面的水迹；再用洁净无毛的软布蘸取乙醇或溶剂汽油擦拭油箱表面的油污和汗迹；最后用胶粘布（粘灰布）仔细擦去工件表面的尘埃和纤维等。

喷涂 UV 涂料的条件：手工空气喷涂施工粘度为 18 ~ 22s，静电喷涂为 14 ~ 16s（涂 -4 杯粘度计，25℃）。

UV 涂料原则上不加任何稀料，在特殊情况下需要加稀料时，只能加入 5% 以下的专用活性稀释剂，而且必须保证 3min 的红外流平时间，否则，稀料挥发不完全，会影响涂膜的硬度和耐候性。

UV 喷涂室的空气必须净化，地面保持一定的湿度，以免空气中的尘埃沾上工件，造成表面麻点，同时所用压缩空气必须不含油和水。

UV 涂料使用前先用 400 目滤布过滤，在不流挂的前提下，应尽量喷厚，涂膜厚度至少保持在 30μm 以上。

UV 涂料喷涂后一般需 3min 以上的流平时间，流平时间过短，容易出现气泡和针孔。

UV 涂料固化时，可根据具体情况调整。UV 涂料固化后还有后固化过程，因此，罩光下线后的产品应避免涂膜的划伤。

UV 涂膜的返工。油箱返工前仍按前述工艺的要求打磨，除尘。然后喷涂表面处理剂。表面处理剂使用前应充分振摇均匀，并用 250 ~ 300 目滤网过滤。喷涂表面处理剂时，应尽可能一次喷涂成膜，否则易产生表面粗糙、发白等现象；表面处理剂不能喷涂过厚，以刚好使工件变为亚光为宜，否则会影响层间附着力；喷完表面处理剂 3min 后，用胶粘布擦拭表面，以除去可能存在的颗粒，再按前述工艺喷涂 UV 清漆。

抛光及喷防锈油一般在装饰性要求高的产品（如油箱、ABS 覆盖件）涂装中采用。涂装完毕后，为进一步保护油箱内腔磷化膜的完整性，需喷涂一层防锈油。喷涂时采用专用喷枪，喷涂压力为 0.2 ~ 0.4MPa，内腔必须涂覆完整，若喷涂过程中，外表面有防锈油时应用软布擦净。

### 5.13.6　车架的涂装工艺流程是什么？

基本工艺流程为：抛丸除锈→脱脂→水洗→水洗→表调 + 磷化处理 + 水洗→水洗→纯水洗，电泳→UF 水洗→UF 水洗→UF 水洗→水洗→水洗→纯水洗→烘干固化。

摩托车车架抛丸除锈选用丸粒直径为 0.3 ~ 0.5mm，抛丸速度为 80m/min，清洁度

为 Sa2 ~ Sa2.5；即能够满足涂装的要求。经抛丸的车架可涂防锈底漆与面漆，或经磷化处理实施底面合一的电泳涂装。

### 5.13.7 塑料件的涂装有什么工艺要求和要点?

塑料件进行涂装的目的是为了提高其性能及外观的装饰性，以适应摩托车户外性能或花色品种的快速变化。

对于塑料制品的涂装，涂装前的表面预处理至关重要。摩托车塑料件涂装的基本工艺为：脱脂→表面调整→烘干→静电除尘→去应力→喷涂导电底漆→喷涂专用底漆→空气或静电喷涂底漆→晾干→烘干→冷却→细打磨及贴花→罩光→晾干→烘干→冷却→打磨抛光→检验及包装。

脱脂可采用有机溶剂脱脂，也可用碱液。塑料碱液脱脂配方及工艺见表5-36。

**表5-36 塑料碱液脱脂配方及工艺**

| 工艺条件 | 配方1 | 配方2 | 配方3 | 工艺条件 | 配方1 | 配方2 | 配方3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 氢氧化钠/(g/L) | 50 ~ 80 | | 30 ~ 50 | OP 乳化剂/(mL/L) | | | 1 ~ 2 |
| 磷酸三钠/(g/L) | 30 | 50 | 15 ~ 20 | 温度/℃ | 40 ~ 45 | 40 ~ 55 | 40 ~ 50 |
| 碳酸钠/(g/L) | 15 | 30 | 15 ~ 20 | 时间/min | 30 ~ 40 | 10 ~ 30 | 10 ~ 20 |
| 洗涤剂/(mL/L) | 3 ~ 5 | 7 ~ 10 | | | | | |

注：配方1主要用于ABS塑料制件；配方2用于有严重污染的制件；配方3用于油污不严重的制件。

表面调整通常以纯水配槽，表面调整剂含有表面活性剂，经脱脂、水洗、纯水洗后的工件再经表面调整剂浸洗或喷淋，可以改善塑料件的表面状态，如纯水洗后工件的表面张力为7.2Pa，使用表调剂后表面张力降低为3.1Pa，经表调后的塑料件表面不挂水滴，成为润湿薄膜，均匀润湿，去除污染，防止起泡，使工件易于干燥。

有机溶剂脱脂的工件可以不进行烘干，但经碱脱脂、水洗、表调后的工件应进行脱水烘干，通常烘干条件为70℃，20min。

W溶剂（俗名消痕水）是为改善ABS塑料毛坯件表面性能所用的表面润湿剂，可以改善塑料件表面对涂料的亲和性，增加涂料的附着力。该表面处理剂可以有效地释放ABS塑料在成型过程中形成的表面应力；对ABS塑料制品由于模具、运输等因素造成的细小伤痕，能起到一定的弥补作用。

使用W溶剂时，先用细砂纸打磨ABS塑料件表面直至该表面无明显伤痕，再用异丙醇擦拭塑料件表面，去除表面纤毛和细小颗粒，用压缩空气将表面吹干后，将W溶剂以喷枪涂覆在塑料件表面，使其被W溶剂均匀润湿，静置3 ~ 4min，再用压缩空气吹干表面即可涂装。

由于静电涂装较空气涂装节约涂料，但基体应具有导电性。为使ABS等非导体被涂物具有导电性，必须先喷涂导电底漆。

为提高PP底材或尼龙底材喷涂时涂膜与基材的附着力，开发了漆前专用底漆，喷涂该底漆后3 ~ 5min即可喷涂面漆。

采用双组分涂料涂装。ABS塑料的工艺条件，以立邦涂料PC2000各色底漆、PC2000（3000）各色面漆、PC3000罩光清漆喷涂为例加以介绍，塑料用双组分涂料的

工艺条件见表 5-37。

**表 5-37　塑料用双组分涂料的工艺条件**

| 工艺条件 | PC2000 各色底漆 | PC2000（3000）各色面漆 | PC3000 罩光清漆 |
|---|---|---|---|
| 稀释剂 | T-701（快），T-801（慢），T-901（更慢） | | |
| 原涂料: 固化剂 | 原涂料: R-55（固化剂）=5∶1 | | 原涂料: PC 3000（固化剂）=5∶1 |
| 施工粘度（NK-2 杯，20℃）/s | 静电喷涂　10～12<br>空气喷涂　11～13 | 静电喷涂　12～14<br>空气喷涂　13～15 | 静电喷涂　13～15<br>空气喷涂　14～16 |
| 活化期 | 存放温度 10℃时，24h；存放温度 20℃时，14h；存放温度 30℃时，6h | | |
| 喷出量/（mL/min） | 100～220 | 100～220 | 100～220 |
| 空气喷涂压力/MPa | 0.3～0.4 | 0.3～0.4 | 0.3～0.4 |
| 喷涂距离/mm | 200～300 | 200～300 | 200～300 |
| 静电喷涂电压/kV | 6～9 | 6～9 | 6～9 |
| 涂装室温度/℃ | 25±5 | 25±5 | 25±5 |
| 涂装室湿度（%） | 70±5 | 70±5 | 70±5 |
| 流平时间/min | >5 | >7 | >7 |
| 烘烤条件 | | 70～80℃，30min | 70～80℃，30min |
| 标准膜厚/μm | 20～25 | 25～30 | 35～40 |

贴花是塑料件面涂后罩光之前为增添表面装饰或作产品标识进行的一道工序。贴花之前先用 1000#以上的水砂纸对烘干后的涂层表面进行打磨，直到平整光滑，不允许有砂纸纹或露底等缺陷，然后在指定位置粘贴彩条。

ABS 件抛光主要是为消除罩光后涂膜的局部表面缺陷，使涂层具有柔和、稳定的光泽，涂面更加平滑，进一步提高外观装饰性。

### 5.13.8　摩托车发动机的涂装有什么要求？

发动机的外壳一般为铝合金压铸件。铝是一种比较活泼的两性金属，在铝中加入其他元素制成铝合金后，虽然提高了机械强度，但耐蚀性却下降了，这就需要根据使用环境进行一定的表面预处理。

1. 发动机预处理工艺

（1）毛坯件检查　凡毛坯件上有明显的压铸裂纹、气孔、冷格纹和磕碰等都会影响涂装质量，缺陷的毛坯一律挑出；毛坯件上有大量的油污或脱模剂，应进行相应的脱脂处理；凡外观尺寸、装配面有严重缺陷者应进行分选隔离。

（2）抛光打磨　采用粘砂抛光布轮，砂料使用不小于 180#的金刚砂。抛光时应防止大轮抛窄面和小轮抛宽面，造成抛光痕。抛光打磨不到的部位应使用专用气动工具，如刮刀、锉刀、砂纸等人工打磨，使零部件表面达到涂装要求。操作过程中应轻拿轻放，避免磕碰机加工面。

（3）液体喷丸　对发动机装配有影响的螺孔应以 100% 保护，保护之后将工件放在抛丸机的转盘上，进行喷丸处理，喷丸气压为 0.4～0.5MPa。玻璃丸粒度 40 目，喷丸

时间3~5min，可将工件旋转进行多次喷丸，直到喷好为止。喷丸角度以最大有效喷丸面积的角度为准，喷丸时压力不易过高，否则会损伤基体表面。喷丸完毕后，取下护具，人工洗尽产品上的玻璃丸以及特殊工件不通孔中的铝屑和玻璃丸。

（4）上挂具　工件在预处理后上挂时，应本着易于清洗、不损伤装配面、不形成空气袋为原则，同时应使用专用挂具，轻拿轻放。

（5）脱脂　对铝合金件而言通常采用低碱度脱脂。其工艺参数为：脱脂剂5%～8%，游离碱度10点以下，pH=8～10，温度为50～60℃，处理时间为3～5min。生产过程中定期分析槽液浓度，适当补加药剂，保持液面清洁，定期更换和排放槽液。

（6）活化　铝合金属于两性金属，既可以用酸也可以用碱进行腐蚀。工艺参数为：活化剂5%～8%，pH=1.5～3.5，常温处理1～2min。活化后的工件应多次水洗，铝合金活化工艺见表5-38。

**表5-38　铝合金活化工艺**

| 序号 | 溶液组成 | 处理温度/℃ | 处理时间/min | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 铬酐　80g<br>磷酸（密度1.17g/mL）200mL<br>水　1L | 室温 | 1～10 | 对基体金属腐蚀较小，不能除掉重锈 |
| 2 | 硝酸　5%（质量分数）<br>水　95%（质量分数） | 室温 | 1～10 | 加入1%的$K_2Cr_2O_7$，可减少对基体金属的腐蚀 |
| 3 | NaOH　40～60g | 50～60 | 12s | 对金属基体腐蚀强烈，除锈后需进行钝化 |

（7）Aloding处理　Aloding处理也称为磷酸-铬酸盐处理。处理液的主要成分为磷酸、铬酸，内含作为腐蚀剂的氟化物或其复合盐，溶液的pH值为1.5～3.0。通过该处理，在基体表面生成组成为$Al_2O_3 \cdot 2CrPO_4 \cdot 8H_2O$的非晶膜，薄的处理膜适用于涂膜底层，厚的处理膜则具有良好的耐蚀性。在Aloding处理过程中，随着槽液中$Al^{3+}$离子的增加，其色泽会逐渐变淡，因此生产时应控制槽液中铝离子的含量，添加$F^-$离子进行配合。铝合金Aloding处理工艺流程见表5-39。

**表5-39　铝合金Aloding处理工艺流程**

| 溶液组成及工艺参数 | 配方1 | 配方2 | 溶液组成及工艺参数 | 配方1 | 配方2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 铬酐/(g/L) | 12 | 7 | 温度/℃ | 50 | 25 |
| 磷酸/(g/L) | 67 | 58 | 处理时间/min | 2(浸渍法) | 10(浸渍法) |
| NaF/(g/L) | 4～5 | 3～5 | | 0.5(喷淋法) | 3～5(喷淋法) |

（8）封闭　经Aloding处理后的工件进行水洗后，在不低于80℃的热水中清洗，处理时间1～2min，在温度一定时，尽量使用流动水，维持槽液pH值在6～7之间。

（9）烘干　烘干前应尽量用不含油的压箔空气清理部件表面的积水和部分不通孔中残余的玻璃丸。在100～120℃下烘干15～20min。烘干后的产品使其自然或强制冷却，严禁脏手触摸产品待涂面，以免影响涂膜附着力。

2. 发动机喷涂工艺

（1）持涂品检查、保护及除尘　经 Aloding 处理烘干后的产品进行检查，若发现表面仍存在伤痕等缺陷应分选隔离；对所有不需要进行涂装的内表面、机加面、螺纹、丝孔进行 100% 保护。若工件在检查及保护时出现二次污染，应用醇类溶剂擦拭，以免影响涂膜附着力。

（2）配漆　核对使用涂料的类别、名称、型号及品种，然后将涂料桶倒置进行一定时间的摇晃，再用专用工具开桶，用干净的搅拌棒将原涂料彻底搅拌均匀，根据生产量将搅拌均匀的原涂料转入不同的洁净的配漆相中，加入专用稀释剂反复搅拌，并且调整到适合的施工强度，然后以 160 ~ 200 目的钢丝网进行过滤。

（3）喷涂　喷涂工艺条件如下：①粘度（涂 - 4 杯粘度计，25℃）为 18 ~ 20s；②喷枪压力 0. 3 ~ 0. 4MPa；③喷涂距离 200 ~ 300mm；④喷涂角度 90°；喷枪口径 1. 0 ~ 1. 2mm。

喷涂灰底漆、铝粉漆、清漆可采用湿碰湿工艺；涂装前应将喷台、喷枪清洗干净，地面保持清洁，压缩空气无油、水，且保持稳定；涂装过程中，喷涂铝粉漆时，应不定期地对施工涂料进行搅拌，以免前后加工的产品出现色差；涂装时，应遵循先喷死角和非注视面，再喷注视面的原则。涂装过程中需要换色时，应将所有的供漆系统清洗干净以免出现色相污染和粗糙。经涂装后的零部件表面应均匀涂覆一层涂膜，不允许有漏喷、喷薄、流挂、发花和粗糙等不良现象。如果出现非涂装部位也喷上涂料的情况，应在湿膜状态下，用蘸有溶剂的棉布清理干净，但不能损伤涂膜。

（4）晾干流平　不论是单一涂膜进烘炉前，或湿碰湿多层涂膜喷涂之间都应进行 5 ~ 15min 晾干。一是使涂膜展平，二是使溶剂释放。该过程中，应避免空气灰尘的污染，保持通道清洁，同时不能用手触摸。

（5）涂膜烘干　温度 140 ~ 160℃，时间 30min。烘干过程中温度应可以自动控制，或随时观察温度的变化，否则易出现固化不良或过度烘烤，使涂膜发脆，影响附着力。烘干后的涂膜经自然冷却或强制冷却后，去掉隐蔽工具进行检验。

（6）检验包装　涂膜外观注视面应光泽良好，丰满度高，无漏喷、流挂、针孔、起泡、缩孔、粗糙、变黄和色泽不均等现象。性能检查时，现场抽取一定数量的产品做常规性能检查，应达到附着力不大于 1 级，硬度不小于 2H，耐 90#汽油 24h。包装前应对机加工装配面进行校平，使用专用盛具箱包装。同时产品之间应以专用隔板隔开，视不同要求，产品应用泡沫袋先装好后放入带隔板的专用盛具箱中。

## 5. 14　塑料涂装工艺

### 5. 14. 1　塑料有哪些分类？

1. 塑料种类

塑料由于质轻、耐腐蚀、易整体成型且造型的可塑性大、制品的整体美观性好及良好的抗冲击性，使得塑料制品的应用越来越广。塑料按热性能分为热塑性和热固性两类。热塑性塑料都采用注射成型，常用的材料包括 HIPS、ABS、PC、PP/EPDM、PP/

ABS、PP 等；热固性塑料主要有 SMC、PUR 等。成型方式有薄板模压（SMC）、体模压（BMC）、低压模压制品（LPMC）、反应注射成型（RIM）、玻纤增强反应注射成型制品（RRIM）等。

2. 塑料特性

（1）塑料的耐热性　塑料的热固性比热塑性好，但热变形温度普遍都不高，故在涂装干燥过程中不宜在100℃以上温度烘烤，可供选择的涂料品种很有限，对塑料用高性能涂料和涂装方法提出了专门的要求。各种塑料的变形温度见表5-40。

**表5-40　各种塑料的变形温度**

| 塑料品种 | 热变形温度/℃ | 塑料品种 | 热变形温度/℃ |
|---|---|---|---|
| PS | 60～93 | 有机玻璃 | 70～90 |
| ABS | 75～107 | PVC | 50～70 |
| PP | 100～110 | 酚醛（热固性） | 107～180 |
| PE | 40～85 | 氨基塑料（热固性） | 130～180 |
| PC | 135～143 | 不饱和聚酯（FRP） | 120～200 |
| 尼龙 | 130～182 | 环氧（FRP） | 90～180 |
| PU | 70～130 | | |

（2）塑料的降解性　塑料在受到光、热、$O_2$、$H_2O$ 及其他介质作用时，会因发生分解、光氧化、水解作用而老化，影响使用寿命。因此塑件需要采用抗介质作用性强的耐候性涂料来保护。

（3）塑料的耐磨抗划伤性　塑料制品表面虽然非常光滑，但塑件表面由于质地较软，容易被磨毛划伤，影响其外观，而透明的光学塑料壳件磨毛后就会影响其使用性能，需用硬质涂膜来保护。

（4）塑料的耐溶剂性　热塑性塑料除了 PE、PP 和 PTFE 外，耐溶剂性都很差，热固性塑料的耐溶剂性较强。塑料的耐溶剂性见表5-41。若溶剂对塑料产生溶解和溶胀作用，会使塑件应力开裂，冲击强度下降，使涂膜发软多气孔；若溶剂与塑料的相容性很差，则涂膜易剥落。因此塑料的涂装需要专用涂料，以免涂料中溶剂对塑料产生不良影响。

**表5-41　塑料的耐溶剂性**

| 溶剂与稀释剂 | 硝基纤维素专用 | 聚氨酯专用 | 过氯乙烯专用 | 氨基涂料专用 | 丙烯酸涂料专用 | 醇类 | 芳烃 | 脂肪烃 | 酮类 | 酯类 | 氯代烃 | 醇醚类 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PS | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 5 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| ABS | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| PMMA | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 2 | 5 | 3 | 2 | | 5 |
| 硬 PVC | 5 | 5 | | 5 | 5 | 5 | 3 | 2 | 6 | 3 | 4 | 5 |
| PC | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 | 3 |

（续）

| 溶剂与稀释剂 | 硝基纤维素专用 | 聚氨酯专用 | 过氯乙烯专用 | 氨基涂料专用 | 丙烯酸涂料专用 | 醇类 | 芳烃 | 脂肪烃 | 酮类 | 酯类 | 氯代烃 | 醇醚类 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 聚酯 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| PP | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| PE | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| PPO | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 |
| 氨基塑料 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 酚醛塑料 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| 尿醛塑料 | | | | | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 |
| 尼龙 | | | | | | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 聚砜 | | | | | | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 2 | |

注：5—优；4—良；3—中；2—差；1—很差。

（5）塑料的涂料施工性　塑料由于表面光滑、极性小、润湿性差及有一定的结晶度，涂装时最常见的问题是涂膜附着力很差。对于尼龙、酚醛等表面极性较大的塑料，经适当表面处理就有较强的附着力；对于 PS、ABS 制品，由于溶剂对它有溶胀作用，涂膜附着力无多大问题，但易造成涂膜出现针孔、局部失光（涂料吸收性）或发粘。PE、PP 和 PVC 等高结晶性材料，需经专门的表面处理，或换用共混改性材料（如 PP/EPDM）来赋予其涂料施工性。

### 5.14.2　塑料涂装工艺有什么要求？

塑料制品除了日常用品和电器外壳外，在汽车上的塑料件有外装板面、保险杠，通用隔板、轮圈盖、外镜座、扰流板、尾灯等，且汽车塑料件对涂层质量要求很高。这些塑件一般都采取反应注射成型、模压成型及注塑成型来加工，由于加工方式的不同，各类制品的材质和表面特性有很大差别，涂装工艺也大不一样。

注塑成型一般采用 ABS、PP、PP/EPDM、PC 等热塑性塑料，模压成型都是玻璃纤维增强的不饱和聚酯，反应注射成型用 PUR。就材料质地来说，PP、PP/EPDM、PC 属硬质和半硬质材料，PUR 为软质材料，涂层的柔韧性应该和材料保持一致，以免涂膜开裂、脱离。就应用广泛的 ABS 塑料来说，有高冲击性和通用型之分，虽然一般都认为 ABS 塑件涂料施工性良好，实际上高冲击性 ABS 表面的涂膜附着力是比较差的。另外，注塑工艺条件的变化造成塑件表面某种成分的偏析，通用型 ABS 也会产生附着力或涂料吸收性问题。又如黑色 ABS 涂料施工性不如白色 ABS，也是表面性质变化所致。所有这些问题的解决都有赖于选择合适的涂装前表面预处理和涂料品种。

塑料由于耐热性差，故不能使用高性能的烘漆，最多只能在 80℃以下的低烘干温度强制干燥，可供选择的涂料品种有限。例如，近年来欧洲汽车塑件用涂料品种和所占份额为：双包装聚氨酯 37.5%、热塑性丙烯酸 25%、不饱和聚酯 20%、环氧底漆

10%，其他7.5%。显然，塑料用面漆主要是聚氨酯、丙烯酸和不饱和聚酯，其他品种为硝基纤维素涂料、酸催化氨基涂料及醇酸树脂涂料，底漆一般采用环氧、丙烯酸和聚氨酯等，不饱和聚酯则多用于SMC制品的填孔和坚硬耐磨涂层。塑件涂装大都采用空气喷涂，要采用静电喷涂需先涂覆1%～2%季铵盐表面活性剂的异丙醇溶液。

塑料静电喷涂存在的问题是：由于表面不具有导电性，造成塑件表面电荷积累，结果塑件非零电位，使喷嘴处静电压下降，涂料荷电和雾化性不良；塑件表面残留电荷对后续涂料雾产生反电场作用力，使涂料雾沉积率进一步下降；表面或残余电荷分布的不均匀性，造成涂膜厚度均匀性差；残留电荷的长期存在，更易吸附灰尘，产生更多表面颗粒。要解决这些问题，必须提高塑件表面电荷的消散速度。涂料雾从喷枪到达塑件表面的时间，旋杯式静电喷涂为0.1s，空气辅助静电喷涂（手提式）为0.01s，一般认为松弛时间（$\tau$）小于$10^{-4}$s可防止电荷积累。电荷松弛释放有如下关系式

$$Q(\tau) = Q_0 e^{-\tau/\tau}$$

$$\tau = \rho \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

式中　$\tau$——松弛时间（s）；

$\rho$——体积电阻率（Ω·cm）；

$\varepsilon_0$——空气介电常数（$8.8\times10^{-14}$）；

$\varepsilon_r$——塑料介电常数，取2～10，大部分$\varepsilon_r\approx2$。

因此，$\tau=10^{-4}\sim10^{-6}$s的体积电阻率$\rho=10^5\sim10^7\Omega\cdot$cm，湿处理后的反应注射聚氨酯、塑料表面涂导电底漆或涂覆表面活性剂并进行调湿处理，都能使$\rho=10^5\sim10^7\Omega\cdot$cm，这样才能采用静电喷涂。

### 5.14.3　ABS塑料涂装工艺是什么？

ABS塑料涂装工艺为：60℃退火处理2h（或丙酮1份、水3份，室温浸15～20min）→汽油或醇擦洗→清洗脱脂→水洗→去离子水洗→干燥→静电除尘→空气喷涂→闪干3min→空气喷涂→闪干5min→60℃强制干燥30min→冷却→检查。选用各色热塑性丙烯酸、金属底色漆、清漆等，施工粘度12s。

### 5.14.4　PVC塑料门窗涂装工艺是什么？

PVC塑料门窗的涂装工艺为：清洗脱脂→水洗→去离子水洗→干燥→擦附着力促进剂→空气喷涂→闪干3min→空气喷涂→闪干5min→60℃强制干燥30min→冷却→贴膜→包装。

PVC塑料的热变形温度为55～75℃，烘干温度不宜超过80℃。擦促进剂是为了提高涂料对底材的润湿性，改善涂层结合力。

### 5.14.5　手机塑料外壳涂装工艺有什么要求？

手机塑料外壳都采用ABS和PC/ABS，少量使用PPO塑料。手机塑料外壳表面要求有优美的外观装饰性，并要有良好的耐磨抗划伤性，因此手机塑料由底漆和面漆构成。底漆给予其特殊的装饰效果，如闪光或珠光效果，面漆赋予其高光泽、高硬度及耐磨性。

对于双包装聚氨酯面漆的耐磨性只有200次，有机硅改性丙烯酸约800次，而光固

化涂料可达 2500 ~ 3600 次。因此手机塑料适宜采用光固化清漆。

涂装工艺过程为：脱脂清洗→干燥→喷涂金属底色漆→干燥→喷涂 UV 清漆→光固化。常用塑料的涂装工艺见表 5-42。

**表 5-42 常用的塑料涂装工艺**

| 工序＼材质 | ABS | 热塑性聚烯烃（TPO） | SMC |
|---|---|---|---|
| 1 | 脱脂：60℃中性清洗剂喷洗 | 脱脂：碱性清洗剂，60℃喷 30s | 打磨：除脱模剂，300 ~ 400# 水砂纸 |
| 2 | 水洗（喷） | 水喷洗，30s | 水洗 |
| 3 | 水洗（喷） | 水喷洗，30s | 干燥 |
| 4 | 干燥：60℃热风 | 干燥：60℃热风，5min | 除尘：依情况采用离子化空气 |
| 5 | 冷却 | 表调：专用表面活性剂溶液喷洒，保留 30s | 喷涂：底漆和面漆 |
| 6 | 除尘：离子化压缩空气 | 马上擦干，离子化空气除尘 | 干燥：自干或强制干燥 |
| 7 | 喷涂料，空气喷涂 | 喷附着力促进剂，（溶剂或水性） | 检查 |
| 8 | 干燥:60 ~ 80℃,15 ~ 30min | 闪干 5 ~ 10min | |
| 9 | 冷却 | 喷底漆，中涂，面漆等 | |
| 10 | 检查 | 强制干燥：60℃ ×30min | |
| 11 | | 冷却 | |
| 注 | 喷涂料时，应防止涂料强溶剂对材质表层产生过度溶胀，可先薄喷一道打底 | 底漆、中涂、面漆都喷时，每一层都应强制干燥后再喷下一层 | 打磨是去除脱模剂的有效办法，并可增加涂膜的附着力 |

# 5.15 涂料的固化

## 5.15.1 涂料固化有哪些方法?

1. 涂料的固化方法

被涂物表面涂层由液态或粉末状态转变成无定形的固态薄膜的过程称为涂料的成膜过程，或涂料的固化。涂料主要靠溶剂的挥发、熔融、缩合、聚合等物理或化学作用成膜。根据不同的成膜过程可将涂料分为挥发成膜型和交联成膜型。

涂料的固化方法有很多种，一般分为三类，即自然固化、加热固化和辐射固化。

（1） 自然固化　自然固化（或自然干燥）只适合于挥发型涂料、自干型涂料和催化剂聚合型涂料。涂膜的固化速度与气温、湿度和风速有关，一般温度越高、湿度越

低、空气流通越好，固化速度越快。阳光中的紫外线对氧化聚合型涂料的固化有促进作用。自然固化对空气的洁净度也有要求，并且要符合环保条件。

（2）加热固化　加热固化分为强制干燥和烘干，强制干燥指加热自然干燥的涂层，缩短固化时间，一般温度较低，在60～100℃；烘干指加热只能在一定温度下固化的涂料，使其固化成膜，温度一般在120℃以上。加热的温度是指涂层表面或涂层底材的温度，而非烘干环境的温度。加热的方式有对流、辐射和电感应三种。对流加热以热空气为媒介，其优点是加热均匀，控温精确，适于涂层质量高、外形复杂的被涂物的烘干，缺点是升温速度较慢。辐射加热常用红外线和远红外线，辐射被物体直接吸收后转变为热能，使底材和涂层同时加热，特点是升温速度快、热效率高、加热不均匀。电感应加热是利用电磁感应使金属件受热，其特点是加热效率高、适合于小型金属工件。

（3）辐照固化　辐照固化是利用紫外光、电子束使涂层固化的技术。紫外光固化仅适用于光固化的涂料，其固化时间短，适宜于加热易变形的塑料、木材等材料的涂装，但被涂物必须形状简单，且保证紫外光照射的强度。电子束固化是利用高能量的电子束照射涂层，使涂层分子产生活性基团，反应固化。

### 5.15.2　常用的固化方法有哪些?

常用的固化方法有热风循环固化、远红外线辐射固化、紫外光固化、电子束固化、近红外线固化、诱导加热固化等。

### 5.15.3　热风循环固化的机理是什么?

热风循环固化的机理是应用对流传热的原理对工件的涂层进行加热固化，它以热空气为载体。它的特点是加热均匀、适用面广、设备庞大、防尘要求高等。

热风循环固化设备一般按加热空气介质的方式，分为直接加热和间接加热两种形式。直接加热是将燃油或燃气在燃烧室中燃烧所产生的高温空气送往混合室，与来自烘干室的循环空气混合，然后送往烘干室加热工件涂层，使之固化，其热效率高，但气体不纯净。间接加热烘干室是利用热源加热空气，通过循环风机在烘干室进行循环，加热工件涂层，其热效率低，空气纯净。

### 5.15.4　热风循环固化的设备有哪些?

热风循环固化的设备热风循环固化设备一般由烘干室的室体、加热器、空气幕和温控系统等组成，通过计算确定各项参数。

1. 室体

室体的主要作用是隔绝烘干室内的热空气与外界的交流，维持烘干室内的热量和温度。全钢式的室体是由槽轨和保温护板组成的箱式封闭空间结构，分为框架式和拼装式。框架式采用型钢构成室体的矩形框架，在框架上安装护板。这类室体由于用材较多、运输不便、不利于改造，所以已逐渐淘汰。拼装式采用钢板折成槽轨形式，护板也事先制好，在现场拼装成烘干室。槽轨相当于烘干室的横梁，要求有一定的刚度和强度。护板与护板之间的联结要求密封，通常采用直接啮合式或间接啮合式两种联结方式，前者结构简单、密封好、热量损失少，使用较普遍。烘干室的进出口端的热量损耗最大，为了解决这个问题，在室体设计上一般采用桥式结构。其原理是：由于热空气的自然对流，较轻的热空气聚集在上部，通过桥板的阻流作用使其不外逸。桥室烘干室的

桥段有两种结构：斜桥和矩形桥。矩形桥的缓冲区较大，防止热量散失的效果比斜桥更好，而且结构简单。

2. 加热系统

加热系统是加热空气的装置，热风循环固化设备有直接加热和间接加热两种加热方式。加热系统一般由空气加热器、风机、调节阀、风管和空气过滤器等组成。

（1）风管　风管由送风管和回风管组成，经加热器加热的空气经送风管进入烘干室内，与工件和烘干室中的空气进行热交换，然后经回风管回到加热器，这样就引起烘干室内的空气流动，形成一定的流型和速度场。送回风管的布置直接影响到烘干室的加热效果和热能耗。送回风管在烘干室中的布置方式有很多，常用的有下送上回式、侧送侧回式和上送上回式，应根据涂层的要求和设备的结构进行合理选择。

（2）空气过滤器　空气过滤器的作用是过滤空气中的尘埃，以免污染涂层。空气过滤器通常使用的是干式纤维过滤器和粘性填充滤料过滤器。其中干式纤维过滤器是由内外两层不锈钢网和中间填充的玻璃纤维或其他阻燃纤维制成的滤布组成，其过滤精度可靠，市场上有产品供应，应用普遍。

（3）空气加热器　空气加热器用来加热循环空气，按热媒的不同可分为燃烧式、蒸汽式和电热式，各类加热器又有许多不同的形式。

3. 空气幕装置

对于连续式烘干室，由于工件连续通过，烘干室的进出口始终是敞开的，为了防止热空气从烘干室流出和外部空气流入，减少热量损失，通常在烘干室的进出口门洞外设置空气幕装置，即用风机喷射高速气流而形成空气幕。对于粉末涂装工件的烘干室，进口处不能设空气幕，以防吹落粉末，这时可在出口处设置空气幕。

### 5.15.5　远红外线辐射固化的机理是什么？

远红外线辐射固化的机理和特点辐射与对流加热固化有着本质的不同，对流加热固化必须有介质，而辐射是电磁能的传递，不需任何中间介质。电磁波根据其波长的不同有很多种，红外线波长在 0.76～1000μm，其中波长 0.76～4μm 称为近红外线，波长 4～1000μm 为远红外线。近红外线只使涂料中的电子产生振动，所以不同颜色的涂料有不同的吸收率。而涂层及被涂物一般对远红外线有很好的吸收性，即远红外线的波长与这些物质的吸收波长一致，从而引起分子的振动放出热量，达到烘干的目的。一般涂层对远红外线的吸收率为 50% 左右，反射率低于 5%，其余能量将透过涂层被工件吸收。对于远红外线烘干，其能量主要被原子和分子吸收，所以不同颜色的涂料对吸收率影响不大。

远红外线辐射固化由于不需中间介质，所以能量损耗少，而且加热速度快，烘干时间短，设备长度也短。其热传导方向是由内向外，与溶剂挥发方向一致，避免了针孔、气泡、桔皮等缺陷，涂层质量高。

### 5.15.6　远红外辐射固化设备由哪些部分组成？

远红外辐射固化设备主要由烘干室的室体、辐射加热器、空气幕和温控系统等组成。以下主要介绍辐射加热器。

常用的辐射加热器有电热式和燃气式两类，电热式辐射加热器又分为旁热式、直热

式和半导体式三种。

（1）旁热式电热远红外线辐射器　旁热式就是电热体的热能量要经过中间介质传给远红外线辐射层，辐射层受热向外辐射远红外线，按外形不同可分为管式、灯泡式和板式三种。管式辐射器是在不锈钢管、石英管或陶瓷管中，安装一条镍铬电阻丝，管外涂一层远红外辐射涂料。通电加热后，管子表面温度在500～700℃，远红外辐射涂层会发射一定波长的远红外线。灯泡式辐射器的外形与一般红外灯泡相似，其发热元件是由电阻丝缠绕在陶瓷烧结物上制成，这种辐射器的辐射受距离影响较少。板式辐射器是采用涂有远红外涂料的碳化硅板作辐射元件，在板上留有沟槽安装电阻丝，其温度分布均匀，适于平板工件，但热效率不高。

（2）直热式电热远红外线辐射器　直热式电热远红外线辐射器是将远红外线发射涂层直接涂敷在电热体上，目前使用较多的是电阻带式，电阻带一般用镀镍铬不锈钢制成，其加热原理与电阻丝相同。其优点是加热快、热损失少，缺点是电阻带受热变形较大、涂层易脱落。

（3）半导体式远红外线辐射器　半导体式远红外线辐射器是以高铝质陶瓷材料为基体，中间层为多晶半导体导电层，外表面涂敷高辐射力的远红外线涂层，两端连接银电极。通电后，形成以空穴为多数载流子的半导体发热体。这类辐射器适于对高分子和含水物质的加热，具有辐射均匀、热效率高的特点。

（4）燃气式辐射器　燃气式辐射器是利用煤气燃烧加热涂敷在陶瓷或金属基体上的远红外线涂层，来发射远红外线，按照基体材料的不同可分为金属网式、多孔陶瓷板式和复合式三种。其特点是辐射器表面温度高，辐射能量大。

### 5.15.7　紫外光固化设备有什么特点？

紫外光固化设备的特点紫外光固化设备是专供光固化涂料固化用的紫外线发射装置，其特点是：

1）常温下固化，对耐热性差的工件和热容量大的工件均适用。

2）固化时间短，降低了能耗和烘干设备占地面积。

3）设备简单，费用低，生产规模灵活。

4）考虑到光的穿透率，仅适用于透明或半透明的光固化涂料。

5）能量效率低，一般紫外线灯泡功率中转变为紫外线的仅占20%。

6）一般不适于形状复杂的工件，要考虑照射阴影。

7）紫外线对人体和环境有损害。

### 5.15.8　紫外线照射设备由哪些部分组成？

紫外线照射设备由光源、反射板、灯具、电源装置、冷却装置、传感器等组成。紫外光源是用一般的水银灯和紫外日光灯。水银灯是由内封少量水银的石英管制成，通电后水银蒸气在管中发光，改变封入水银的量可改变射线光谱，其照射强度大、生产效率高。紫外日光灯是内表面涂敷荧光物的灯管，同样封入少量水银，不同的荧光物质可改变紫外线的波长，其强度小、适用于表面固化。为了提高紫外线的照射效率通常加上反射板，反射板由铝合金制成，按形状可分为抛物线形和椭圆形两种。

### 5.15.9　电子束固化的原理是什么?

电子束固化是通过电子线的照射使涂层高分子产生交联固化，电子线由加速器产生。电子束固化设备由加速器、高电压发生器、室体等组成。电子线的穿透力与加速电压成正比，与透过物质的密度成反比。加速器通常以加速电压 300kV、电子束电流 30mA、输出功率 9kW 为标准。加速器包括电子枪、加速电子的加速管、限制电子束在一定幅度内扫描的扫描部及真空泵和照射窗。电子束固化可在常温下进行，固化速度快，不透明涂料也可固化，但造价昂贵，还需屏蔽机构。

### 5.15.10　近红外线固化的原理是什么?

德国工业服务公司新开发的一项近红外新技术使粉末涂料在几秒内能迅速干燥和固化。由于该项新技术可使底材受热极大降低，因而它可应用于木材和塑料之类热敏感材料的粉末涂装。它所采用的红外波长为 0.76 ~ 12μm，用作热源的卤素灯丝工作温度达 3500K。由于该项新技术的辐射密度大、深度深，所以只需几秒即可使涂层均匀加热到固化温度。值得注意的是达到固化所需的温度只需约 5s。因此在涂层均匀分布于底材之后，粉末固化反应即开始。为使粉末完全固化，使底材温度再保持几秒，降温后涂层则完全被固化。而对聚酯和混合型粉末涂料可在 5 ~ 10s 内固化。

### 5.15.11　什么是诱导加热固化?

诱导加热固化是快速固化的又一新技术。它是通过将金属底材暴露于交变电场中来实现加热的。诱导电流的穿透深度和待加热区的范围由交变电磁场的频率与加热底材的电阻来决定，表面的加热与底材内部冷却效应需平衡，以使过多的热量不传入制品的主体。一个传统烘烤炉约占 $200m^2$ 加热区，而诱导固化区仅占 $0.5m^2$，且周期约为 17s。

## 5.16　自动涂装系统

### 5.16.1　什么是自动涂装系统?

自动涂装系统是适应涂装自动化的要求，满足多品种、小批量、多尺寸、多色彩的涂装产品的要求而产生的，特别在汽车工业中应用最为广泛。自动涂装工艺必须控制喷枪的运行轨迹、漆液雾化质量、漆液雾化幅宽、漆液粘度、换色、工件识别与跟踪及全过程的计算机控制。涂装自动化的优点如下。

1）适合于多品种、小批量生产。例如在汽车工业中，市场对产品的式样、尺寸、颜色等提出越来越高的要求。自动涂装设备可以对各式车辆实现自动识别、自动跟踪、自动换色，满足市场的需求。

2）提高生产效率，由于整个生产过程全自动化，涂装质量稳定，减少了返工，可连续生产。

3）节省了人力、材料和能源。据德国 DURR 公司自动喷漆专家介绍，上海大众人工喷涂桑塔纳，每辆车用 5kg 涂料，而在德国用静电旋杯自动喷涂机喷涂仅用 2kg 涂料，可以节省大量材料。

4）净化了环境，防止污染。

### 5.16.2 什么是自动识别系统?

自动识别系统是自动涂装最重要的组成部分，它控制喷枪只在工件的实体上喷涂，减少了空喷，保证了涂膜的均匀性。而且，自动识别系统可使喷涂设备适应不同形状和大小的工件，实现了柔性生产，可以适应小批量、多尺寸、多色彩的生产。自动识别系统的发展大体经历了四个阶段。

1）单光电管识别系统只能识别一个坐标，即识别在光电管位置上工件的有无。

2）多光电管识别系统将多个光电管排成一排，对在光电管方向上的工件的各点进行有、无的识别，形成了平面识别。

3）摄像识别系统使用了摄像机摄取图像，利用计算机将图像信号分割转化为电信号，提高了识别精度和可靠性。如果采用多台摄像机，例如多电眼系统，除了可对外部形状进行识别，还可对内部结构进行识别，对工件的内外表面都能自动涂装。

4）自动跟踪涂装系统是为了解决汽车在输送过程中的在线自动喷涂和提高质量而开发的。自动跟踪识别系统可识别由连续输送机送来的汽车的车型，由计算机控制多轴喷涂机进行涂装。随着计算机技术和网络的发展，自动跟踪涂装系统有了很大进展。新型油漆车间从白车身开始设置了一系列计算机读写站，一般在20个左右。这样车身一旦进入油漆生产线，即处于计算机的全程监控之下，通过车身识别系统，车身上的300多个数据将被一一记录，建立起车身档案。这样可以对车间内各生产线的车身情况一目了然。而这些车身档案将随车流向总装，流向销售系统，直到用户手中。

### 5.16.3 什么是自动换色系统?

在多品种、小批量生产中，涂装换色频率越来越高。一般采用人工换色一次约需6min，而采用自动换色系统，一次换色仅需10s，大大提高了生产效率。换色系统最重要的部件是换色阀，一般有横接型和集成型两种。横接型阀的中部是涂料的出口通道，根据换色数量，最多可组成30种颜色的换色阀；集成型是一个集成块上对装两个可循环供漆的单阀，换色数量最多可达40种。在换色时，要对管路和喷嘴进行清洗。

### 5.16.4 什么是自动涂装机和涂装机器人?

自动喷涂的顶喷机可以在5个方向转动，侧喷机可以在3个方向移动，从而使车身的各个表面都能获得较均匀的涂膜。系统都采用外置式，除可移动部分外，设备均置于喷房外，可减少设备污染，提高喷房的清洁度和方便维修。自动喷涂系统采用带主动式齿轮泵的油漆流量计代替气动式流量计，达到了反应更快，控制精确更高目的，可以保证瞬间出漆量处于严格的控制之下，并可准确统计出漆量。尤其是调试时，在计算机屏幕上，输入车身的外形后，即用红线在车身外形上划上喷杯的移动轨迹，并决定好各种参数后，即可自动执行喷涂的全过程。自动涂装机的喷杯有油漆和$CO_2$自动切换系统，当设备发生故障，如高电压打火时，喷杯中会自动喷出$CO_2$灭火。自动喷涂系统的网格板设计成可以自动向两边收缩，这样不仅可以使漆雾直接落入水中不污染网格板，而且使带90kV高压静电的旋杯远离网格板。喷杯离下方循环水的距离在150cm以上，喷出的带电荷的涂料可以更多地被吸附到车身上，提高了油漆利用率。

涂装机器人首先应用在车身的内腔喷涂方面，但由于其特有的灵活性和适用性，已逐步取代往复机。它可以将喷杯移到车身的任何位置，如喷涂窗框时，可以沿着窗框的

边进行喷涂，不必像往复机那样浪费油漆，通常可节省 10% 左右的油漆。静电喷涂一般要求喷杯与工件间的距离为 300mm 左右，这样涂装的效率较差，并受温度、湿度的影响较大。一种新开发的喷枪不用高压静电，不用控制温度和湿度。使用涂装机器人喷涂，电子眼可以自动判断距离和跟踪工件。喷枪上约有 100 个小喷嘴，喷嘴中间以空气隔开，其喷枪与工件的距离小于 50mm，所以其喷涂效率高于 90%，涂层厚度可以准确控制。其原理类似彩色复印机复印时的彩色喷墨过程。底部 PVC 密封采用四点摄像定位，以保证涂装机器人喷涂时位置高度准确。机器人采用双头喷涂，并可以移动、跟踪喷涂，这样一台机器人顶两台用，调试时采用激光仿型模拟，使喷涂的部位十分准确，还可防止飞溅，喷涂厚度也可以比较准确地控制在一定范围内。

# 第 6 章　涂 装 设 备

## 6.1　喷涂室

### 6.1.1　喷涂室的分类有哪些?

喷涂室具有净化空气、提高喷涂质量、改善作业环境条件的作用。因此，喷涂室内应该有恒定的温度（15～22℃）和相对湿度（RH65%），照明为 150～300lx，空气中尘埃含量在 3500 粒/L 以下，应能有效地处理喷涂时散发的漆雾和溶剂蒸气，并配备适宜的消防设施，以确保操作人员的安全和健康卫生。

根据不同的工件和不同的生产方式，应采用相宜的各种喷涂室，喷漆室的分类、工件输送方式、特点及使用范围见表 6-1。

**表 6-1　喷涂室的分类、工件输送方式、特点及使用范围**

| 名称 | 示意图 | 运输工具 | 特点 | 使用范围 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 工作性质 | 工作特征 |
| 台式 | | 转盘 | 横向抽风，采用干式或水帘式等处理漆雾 | 间歇 | 各种形状的小型工件 |
| 悬挂式 | | 单轨、挂钩 | 横向抽风，采用干式或水帘式等处理漆雾 | 间歇 | 各种形状的小型、中型工件 |
| 台移动式 | | 带工作台小车 | 横向抽风，采用干式，水帘式或其他方式处理漆雾 | 间歇 | 各种形状的小型、中型工件 |
| 敞开式 | | 台车 | 底部抽风或上送下抽风，采用水洗式处理漆雾 | 间歇 | 大型工件，单件或小批量生产 |

（续）

| 名称 | 示意图 | 运输工具 | 特点 | 使用范围 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 工作性质 | 工作特征 |
| 移动式 | | 工作不动 | 喷漆室移动，单面或双面喷漆，纵向抽风 | 间歇 | 形状简单的大型重型工件，单件或小批量生产 |
| 干式 | | 多种形式 | 横向抽风，干式过滤器 | 间歇 | 喷漆量较小的各种工件，单件或小批量生产 |
| 水帘式 | | 悬挂输送机等 | 横向抽风，采用水帘式处理漆雾 | 连续 | 小型或部分中型工件成批生产 |
| 文式 | | 悬挂输送机等 | 上送下抽风式，采用文丘里原理处理漆雾，室内空气可调 | 连续 | 复杂外形的大型工件成批流水生产 |
| 水洗式 | | 悬挂输送机等 | 上部送风或横向抽风，采用喷水处理漆雾，工件连续移动 | 连续 | 各种外形的中型、小型工件，成批生产 |
| 水旋式 | | 地面输送机 | 上送下抽风式，采用水旋器漆雾，室内空气可调 | 连续 | 复杂外形的大型工件，漆膜质量要求高的工件，成批生产 |

注：表中所列为主要类型，由于送风方式、运输工具和漆雾处理方式不同组合而形成的各种派生类型，不在本表范围。实际应用中，应根据情况选择。

### 6.1.2　干式喷涂室有哪些特征？

结构简单，不采用水收集漆雾，直接对漆雾处理，故没有废水产生，风压低，运行能耗低，风量小，但漆雾捕集效率低，喷涂室的内壁和折流板上易积累漆粒，设备自身污染严重，必须经常清扫，且滤材需经常更换，滤材中的油漆不能及时清理，需加强防火。

喷涂室都采用排风装置将喷漆过程中产生的油漆和有机溶剂的逸雾收集到漆雾处理装置内进行处理，一般在下部抽风。干式喷漆的漆雾处理装置可由数块 U 形板相对啮合而成，放在喷涂室排气口前面。设备包括折流板、过滤材料和蜂窝过滤纸。一般可直接将经过折流或过滤的空气排放出来，对于被折流板或过滤材料留下的漆粒，经清理折

流板或更换过滤材料后直接作为固态废料处理。由于处理过程不涉及液态物，故称为干式漆雾处理装置，其喷涂室也称为干式喷涂室，其原理如图6-1所示。

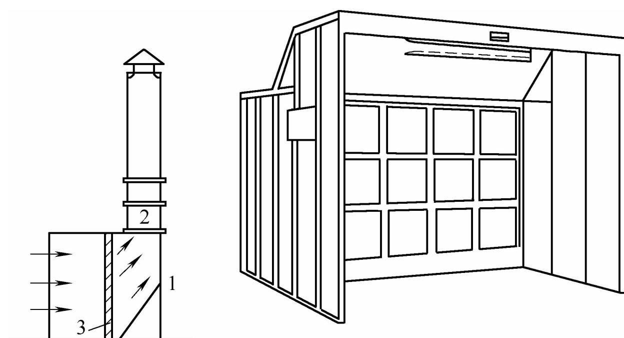



图6-1 干式喷涂室原理图
1—室体 2—排风装置 3—漆雾处理装置

干式喷涂室由室体、排风装置和漆雾处理装置组成。一般喷涂室的地板与车间地面平齐。但喷涂室根据不同情况大小可不同，为非标设备。

### 6.1.3 水帘式喷涂室有哪些特征?

水帘式喷涂室利用流动的帘状水层来收集并带走漆雾，其示意图如图6-2所示。帘状水层一般设置在含漆雾空气流的正前方。在横送风的喷涂室内，水帘像布帘一样垂放在操作者正前方的壁上。大型上送下抽风喷涂室内水帘布置在室底，斜坡放置，气流冲向水帘时，漆粒冲击水滴而被附着留下，水帘由专用循环水泵维持，用调节阀调节水量大小来控制水帘形状的完整。水帘喷涂室结构简单，室壁不易污染，处理漆雾效果较好。但由于用水收集漆雾，含漆雾的废气转化为含漆雾的废水，形成二次污染，废水必须进行再处理。另外，由于使用大面积水帘，水的蒸发面积大，室内空气湿度大，可能会影响喷涂层的装饰质量。

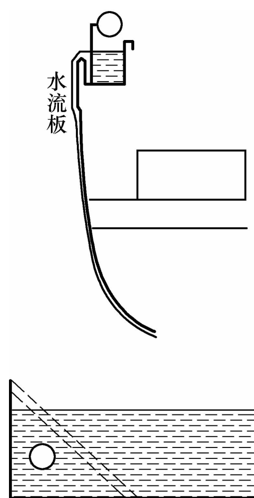



图6-2 水帘式喷涂室示意图

### 6.1.4 水洗式喷涂室有哪些特征?

水洗式喷涂室通过水泵-喷嘴将水雾化喷向含漆雾的空气，水粒子与漆粒子相互碰撞和凝聚将漆雾收集到水中，然后再对水进行处理，如图6-3所示。水量和水雾化效果决定水粒子的多少，直接影响漆雾收集效率，雾化效果与喷射速度、喷射形状有直接关系。含漆雾空气的流动速度也会影响漆雾的收集效率。

普通水洗式喷涂室的室壁易污染，其喷嘴易堵塞，处理漆雾的效果较差，属于较老式的喷涂室，现已逐渐被其他类型的湿式喷涂室所代替。新式喷涂室多为组合式，如水帘-水洗组合式喷涂室，组合方式大致分三种：①多级水洗式喷涂室；②水帘-水洗多级组合式喷涂室；③水帘-水洗加上曲形风道式喷涂室。

这些组合式喷涂室增加了漆雾处理时间，保证漆雾逸出工件直至风机排出，使预处理充分进行。增加水滴与漆雾的接触机会,使漆雾充分相互凝聚,或使漆雾在液膜、气泡上附着,或以粒子为核心产生露滴凝聚,以此提高漆雾处理效率。增加漆粒在重力、离心力、惯性力下抛向处理室壁或水面的机会,使漆粒得到更好的收集和处理。

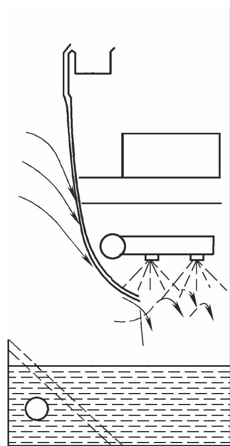


图 6-3　水洗式喷涂室

### 6.1.5　水帘-水洗式喷涂室有哪些特征?

常见的水帘-水洗式喷涂室的形式很多。图 6-4 所示为几种典型水帘-水洗喷涂室的结构简图。漆雾处于喷涂室下部时,应选用图 6-4a 所示的方式,气流组织为横向抽风,下部过滤。由溢流槽 3 溢出水,形成的水帘和水池的水面在气流正前方,漆雾碰到水帘或水池面会被水吸附,积存于水槽中。没有碰到水帘的漆雾由水帘下部进入喷涂室的后部,由喷管 7 喷出的水雾冲洗,二次收集漆雾。喷嘴水洗的收集漆雾效率随喷射形状、喷射速度和水粒大小不同而变化。为了防止漆粒堵塞喷嘴,喷嘴宜选用圆形喷射状态喷嘴。一般水帘和水洗的收集漆雾率为 3∶1,两次捕集共可捕捉 95% 的漆雾,约有 2% 的漆雾粘附在排风系统的风机和风管上,少量被排入室外的大气中。

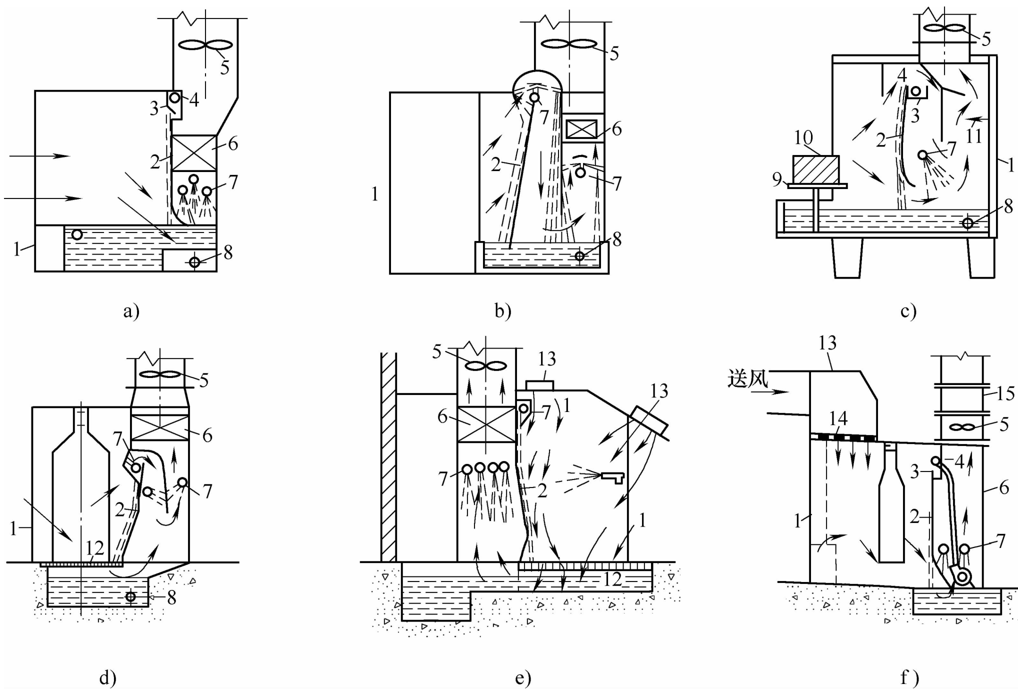



图 6-4　几种典型水帘-水洗的结构简图

a）Ⅰ类　b）Ⅱ类　c）Ⅲ类　d）Ⅳ类　e）Ⅴ类　f）Ⅵ类

1—室体　2—淌水板　3—溢流槽　4—注水管　5—通风机　6—气水分离器　7—喷管　8—水泵吸口　9—转盘　10—工件　11—折流板　12—栅格板　13—送风口　14—过滤网　15—调节阀门

当漆雾主要处于喷涂室上部时，则应选用图6-4b所示的方式，由喷管7喷出水形成前后两道水帘，含漆雾的废水由上部经两道水帘进入喷涂室后部再经水洗后排出。若漆雾处于喷涂室中部，一般选用图6-4c、d所示的方式，废气分别由喷涂室上部和下部进入室体，经水帘、水洗，分离水气后排入大气。

### 6.1.6 无泵喷涂室有哪些特征?

无泵喷涂室是一种较新型的湿式喷涂室，以无水泵得名，其原理图如图6-5所示。喷涂室里空气在风机的抽吸下，通过水面与旋涡室之间的窄缝时形成高速气流，在水面上高速气流利用文丘里管的虹吸现象，将水吸入气流中并雾化，以此代替喷嘴雾化作用。喷涂室风机起动后，含漆雾的空气在压力作用下，以20～30m/s的高速经窄缝（与液面的接触处一般为锯齿状）进入清洗室，空气中的漆雾和水在卷吸板的作用下，旋转进入清洗室，密度较大的漆粒在离心力的作用下，被卷吸板的水膜收集，其余的漆粒与水粒一起在清洗室里反复碰撞，凝聚形成含漆雾的水滴，落入清洗室水槽，流到水槽前部沉积，而除去漆雾、水粒的空气经风机排向室外。

无泵喷涂室不用水泵，其水雾化靠空气进入清洗室窄缝时的高速气流完成，为得到高速空气流，需要风机的高风压（约1200～2500Pa）。另外，为了保证窄缝处截面大小稳定，必须保持水面高度。

无泵喷涂室一般必须在水槽内投入凝聚剂，保证漆粒凝聚，以便每班清除，保证水槽的循环使用。

无泵喷涂室结构简单，其工作示意图如图6-6所示，处理漆雾效率高，消耗水量少。常见无泵喷涂室主要技术参数见表6-2。

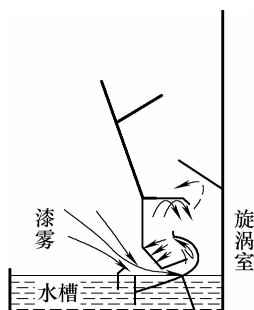



图6-5 无泵喷涂室原理图

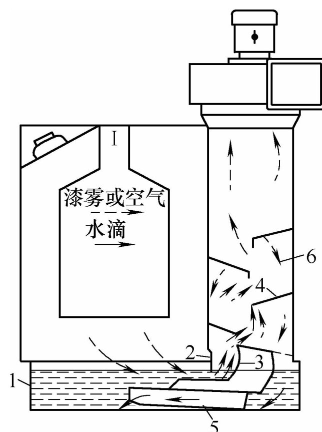



图6-6 无泵喷涂室工作示意图
1—水槽 2—锯齿状板 3—卷吸收 4—挡板气水分离器 5—返回水路 6—清洗室

### 6.1.7 文氏管式喷涂室有哪些特征?

文氏管式喷涂室主要是利用文氏管将水雾化来捕捉漆雾，其结构如图6-7所示。底

板是栅孔大小为 30mm×90mm、厚 20mm 的栅格板，栅格板可不涂涂料或镀锌，该种栅格板规格适用于其他需安装喷涂室的场合。

表 6-2　常见无泵喷涂室主要技术参数

| 型　号 | 室体尺寸（长×宽×高）/mm | 风量/（$m^3/h$） | 电动机功率/kW |
|---|---|---|---|
| WB15 | 1500×2000×2000 | 6600 | 3.7 |
| WB20 | 2000×2000×2000 | 8700 | 5.5 |
| WB25 | 2500×2000×2000 | 10800 | 5.5 |
| WB30 | 3000×2000×2000 | 12900 | 7.5 |
| WB35 | 3500×2000×2000 | 15000 | 7.5 |
| WB40 | 4000×2000×2000 | 17400 | 2×5.5 |
| WB50 | 5000×2000×2000 | 21600 | 2×5.5 |

文氏管式喷涂室通常采用上送下抽风形式，和普通顶送风、底抽风的喷涂室相比，文氏管式喷涂室在栅格板 8 之下安装有倒喇叭形抽风罩 3，抽风罩使从室顶送进室内的空气逐渐收缩，然后由抽风罩中心的间隙排出，使室内的气流成为向中间收缩的层流状，有效地把漆雾向中间压，形成如图 6-7 所示气流的流向，这使漆雾不会向操作者方向扩散。

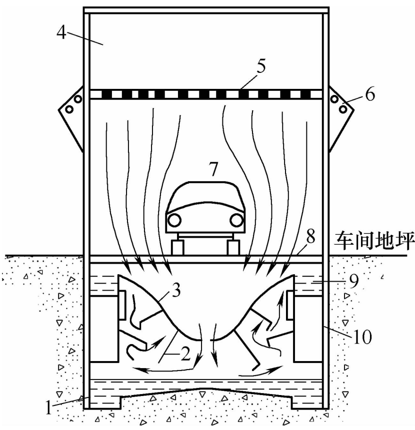



图 6-7　文氏管式喷涂室的结构
1—水槽　2—折流板　3—倒喇叭形抽风罩　4—供气室　5—滤网　6—照明灯　7—工件　8—栅格板　9—溢流槽　10—推气管道

文氏管式喷涂室的优点有：处理漆雾的效率高，一般除去漆雾的效率可达 97%～98%。文氏喷涂室采用文氏管现象使水雾化，不仅效率高，而且由于没有复杂的喷管系统和分离器，结构简单，不存在堵塞问题，整个系统的管理、保养、维修工作量小。文氏管式喷涂室的送入空气可预先经过处理，使其温度、湿度和洁净度达到工艺要求。在要求高的喷涂室中，送风量应稍大于抽风量，使喷涂室内保持正压，防止水分、灰尘侵入室内，保证室内温度、湿度和高洁净度。

文氏管式喷涂室的缺点有：由于文氏管栅格要求狭缝小，雾化水的效果才好，为了提高处理效率，抽风机必须有较大的风压，因此设备耗能大。文氏管喷涂室用水量较大，处理每千克含漆雾的空气需 3～3.3kg 水。另外，由于使用下吸风罩，室底必须有较深的地坑，增加了喷涂室制作的难度和费用。

一般文氏管式喷涂室宽敞明亮，室内温度、湿度稳定，室内洁净度高，适用于装饰性要求高的大型工件，特别是各种中、小型客车和轿车。

### 6.1.8　水旋式喷涂室有哪些特征？

在地面上，水旋式喷涂室与文氏管式喷涂室相似，采用层流技术从上向下送风防止漆雾扩散，将漆雾压向中间从下抽走。但在地面下，水旋式喷涂室完全改变了以上喷涂

室所用的水洗、文氏管、折流板的除去漆雾方法，采用水旋器结构来除去漆雾，其效率可达98%～99.5%，而且结构简单、用水量小，约为文氏管式喷涂室的一半，地坑浅，约1～1.4m。水旋式喷涂室是当前应用较多的一种大型喷涂室，其室体情况如图6-8所示，结构简图如图6-9所示。

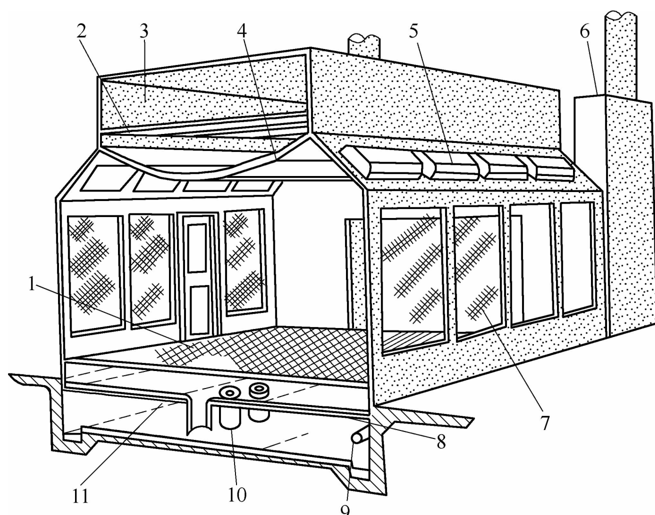



图6-8　水旋式喷涂室室体情况

1—全宽栅格地板　2—可调节挡风板　3—静压室　4—轮廓顶板　5—照明装置　6—排风装置　7—玻璃壁板　8—排渣门　9—循环水管　10—水旋器　11—溢水底板

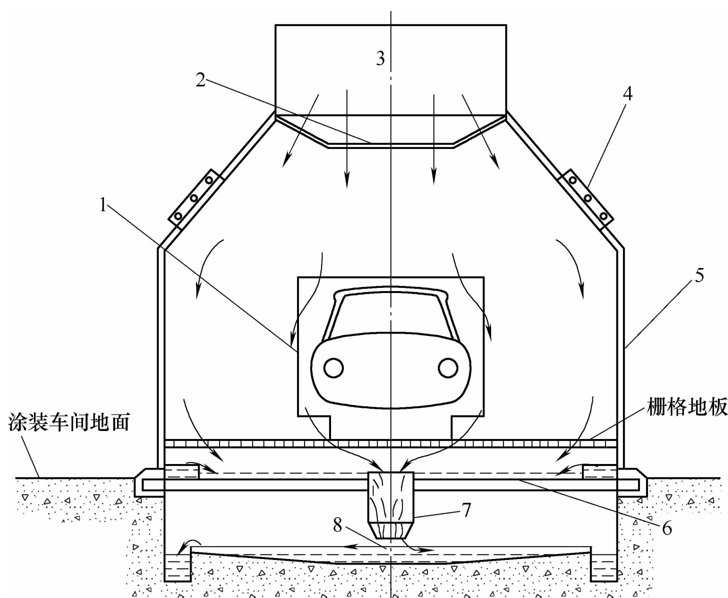



图6-9　水旋式喷涂室结构简图

1—仿形端板　2—空气过滤分散顶板　3—静压室　4—照明装置　5—玻璃壁板　6—溢水底板　7—水旋器　8—挡板

水旋式喷涂室大体可分为五部分：室体、送风系统、漆雾过滤装置、抽风系统和废漆处理装置。

### 6.1.9 怎样进行喷涂室类型的选择?

放置工件的工装形状和尺寸确定后，一个工装就是一个喷涂单位。运输方式的选择由单位时间内通过工装的数量决定，通过的工装数量大时，就应选择连续式；数量较小时，可选择间歇式。而工装的大小就成为选择喷涂室类型的依据，如通过工装旋转能够使操作者方便完成喷涂作业时，可选用单面作业的水帘式喷涂室；而需要操作者在工装的两面移动才能完成喷涂作业时，就应选用可两面操作的上送下抽风的水旋式喷涂室等大型的喷涂室。

### 6.1.10 怎样进行喷涂室结构的选择?

空气流动速度是喷涂室设计的重要工艺参数。输入的空气应有一定的洁净度与适当的流动速度，使漆雾和溶剂尽快飞离喷涂区域。如果气流速度过低，会增加发生燃烧和爆炸的危险性及清洗的难度。

喷涂室的结构根据送风情况不同，分为单抽风和全封闭净化送风等形式。一般质量的喷涂使用单抽风的喷涂室，对外观质量要求高的涂装产品，则要求采用全封闭的净化送风方式。随着高装饰性涂膜产品数量的增加，使用单抽风喷涂室的情况大幅减少。喷涂室内的风速一般为 0.3～0.6m/s，采用不同方式喷涂时，风速不同。采用空气喷涂时，由于雾化产生的飞漆和反弹漆多，所以喷涂室内的空气流速应当大一些，一般为 0.4～0.5m/s；当使用自动往复机或喷涂陶瓷材料时，可高达 1～1.2m/s。而采用高压无气喷涂或空气辅助无气喷涂时，产生的飞漆和反弹漆少，所以喷涂室中的空气流速应当小一些；当采用旋转静电雾化喷涂时，由于产生的飞漆很少，空流速度过快反而会将雾化颗粒吹离喷涂工件，所以流速应更低一些，一般为 0.1～0.3m/s；采用静电雾化或大流量低气压（HVLP）雾化喷涂时，由于产生的飞漆少，应采用较低的空气流速，一般为 0.3～0.4m/s。

在选择排风扇时，既要考虑它的功率，还应注意它产生的噪声大小，大多数工业生产都要求将噪声控制在 85dB 以下。排风扇噪声过大时，可更换功率较大的排风扇在较低转速下运行，在保证足够排气量的同时可降低其噪声。一般鼓风机的噪声要比翼式轴流风扇的噪声小，当使用翼式轴流风扇无法满足对噪声的要求时，可改用鼓风机，也可采取消声措施等。

### 6.1.11 喷涂室应该怎样维护?

为使喷涂室充分发挥作用，必须对其进行良好的维护，维护的要点如下：

1）时刻注意保持喷涂室的清洁，要及时清理沾染在室壁和其他部位上的废漆等污染物，这既可消除废漆堆积引起的火灾隐患，也有利于提高喷涂产品的质量。每次喷涂施工完成后都应及时进行清理。

2）使用湿式喷涂室时，要充分发挥水的作用，要注意保持好水箱的水位，使喷涂室在最佳工作状态运行，还要做好循环用水处理工作，利用加凝聚剂的方法及时清除水中废漆，保持水的清洁。

3）使用干式喷涂室时，最重要的是防火安全，所以要注意及时更换过滤材料和折

流板，一旦过滤材料上粘满漆雾颗粒并阻碍空气流动时，就应进行更换，更换下来的过滤材料要立即拿出喷涂室，并在与外界隔离的安全地点将它妥善处理。使用折流板式漆雾处理装置时，应定期拆下折流板和排气管进行清洗，以防止火灾发生。

### 6.1.12 喷涂室的三废治理是什么？

喷漆过程中产生的有机溶剂废气的主要治理方法有五种：活性炭吸附法、催化燃烧法、洗涤吸收法、直接燃烧法和活性炭吸收-催化燃烧法。国内生产前三种产品的厂家已有很多。五种废气治理方法的优缺点和适用范围见表6-3。

**表6-3 五种废气治理方法的优缺点和适用范围**

| 治理方法 | 主要优点 | 主要缺点 | 适用范围 |
| --- | --- | --- | --- |
| 活性炭吸附法 | 1. 运转费用低，维护费用较低<br>2. 废气中所含有机溶剂能够回收、利用 | 1. 活性炭再生设备占地面积大，能耗大，费用高<br>2. 烘干室废气温度较高时需先冷却；喷涂室废气中漆雾较多时，需先除去漆雾<br>3. 活性炭吸附的有机溶剂需进一步处理 | 适用常温、低浓度、废气量较小时的废气治理 |
| 催化燃烧法 | 1. 治理效率高<br>2. 装置占地面积小<br>3. 与直接燃烧法相比耗能少<br>4. 治理中产生的热量有一部分可以利用 | 1. 应去除废气中杂质，防止催化剂中毒<br>2. 催化剂使用时间长时，治理效率相应降低<br>3. 治理装置较复杂<br>4. 设备费用较高 | 适用于废气温度高、流量小、有机溶剂浓度高、含杂质少的场合。烘干室废气治理应用较多 |
| 洗涤吸收法 | 1. 设备费用较低，占地面积较小<br>2. 可治理较大废气量<br>3. 安全性好 | 1. 与其他方法相比，治理效率较低<br>2. 对洗涤吸收液内的废气成分需进行二次处理<br>3. 洗涤吸收液的选用需根据废气内的主要溶剂来确定 | 适用于温度较低、废气量较大的场合，以及烘干室、喷涂室混合废气的治理 |
| 直接燃烧法 | 1. 废气治理效率高<br>2. 一般废气燃烧后，即达到排放标准。废气治理可靠性高 | 1. 预热耗能多，费用较高<br>2. 需考虑防爆等安全措施<br>3. 换热器、燃烧室设计较复杂 | 适用于有机溶剂含量高、温度高的废气治理 |
| 活性炭吸收-催化燃烧法 | 1. 能处理较大量废气<br>2. 活性炭所吸收的有机溶剂通过催化燃烧装置治理<br>3. 废气中所含有机溶剂能够完全燃烧 | 1. 投资额相对较高<br>2. 设备占地面积较大<br>3. 被处理废气温度一般小于50℃ | 适用于常温、低浓度、较大气量时的有机废气处理 |

喷涂室在漆雾处理中产生的废水含有较多的漆渣和二甲苯及苯。一般不能直接排放，而且漆渣如不及时清除，会给清理工作带来较大困难。下面介绍两种喷涂室废水处理装置，可用来解决清除漆渣和排放废水净化问题。

（1）高效废漆清除装置　高效废漆清除装置有常压式和真空式两种，如图 6-10 所示。这种装置与一般沉淀池法相比，设备结构简单，占地面积小，节省水和化学药品，维修工作量小，污水处理工作量少，清除废漆容易。

（2）喷漆废水处理装置　喷涂室废水中含有较多量的漆渣和二甲苯、甲苯等溶剂，但由于废水量不大，一般油漆车间都将预处理废水与喷涂室废水一起处理。脱脂、清洗、磷化等预处理工艺废水中主要含油、磷酸盐、洗涤剂和各种添加剂，因此处理对象较多，处理工艺较长。喷漆废水处理装置将多种处理工艺集中化、装置化、小型化，针对喷漆废水的污染状况和处理量，自成体系，占地面积小，管理方便，投资少，其主要工艺流程如图 6-11 所示。

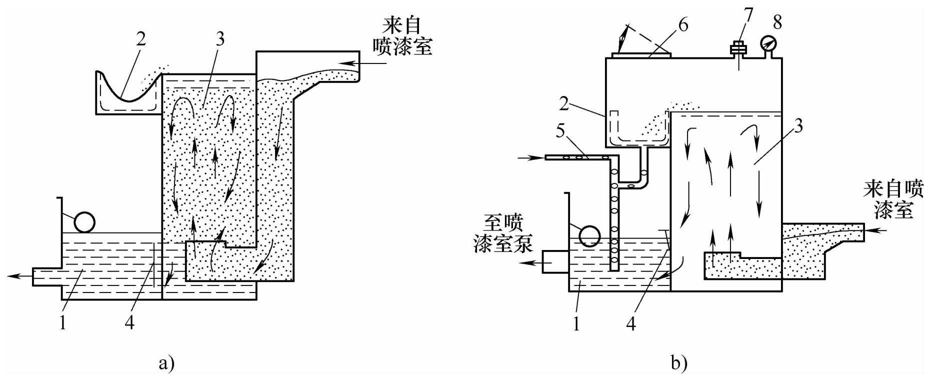



图 6-10　高效废漆清除装置

a）常压式　b）真空式

1—水位控制罐　2—收集器　3—蓄水器　4—闸门　5—水力喷射管

6—盖子　7—真空控制件　8—真空压力表

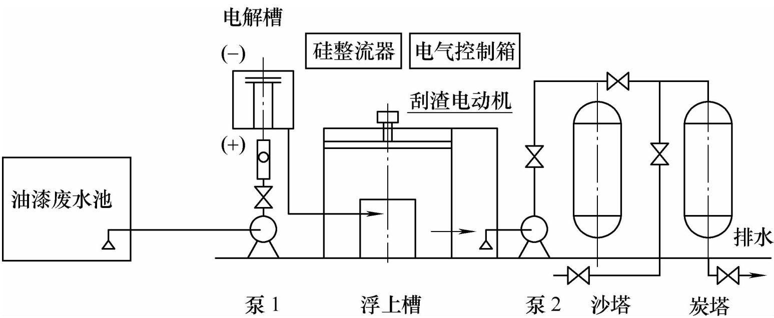



图 6-11　喷漆废水处理装置的主要工艺流程

# 6.2　静电喷涂设备

## 6.2.1　静电喷涂的原理是什么?

静电喷涂是对喷枪施加负高电压，在被涂工件和喷枪之间形成高压静电场。当电场强度（$E_0$）足够高时，喷枪针尖端的电子便具备了一定的动能，它冲击枪口附近空气使空气分子电离产生新的电子和离子，从而局部破坏空气绝缘性，离子化的空气在电场力的作用下移向正电极，产生电晕放电；继续升高电压，使电场强度超过极限电场强度（$E_{max}$），空气绝缘层将被彻底破坏，形成很强的离子流，并产生火花放电。由于火花放电对涂装作业会造成火灾事故，因此静电喷涂是在 $E_0 \sim E_{max}$ 之间的电场强度下，枪口针尖端的电子碰撞从枪口喷出涂料，使涂料液滴带上负电荷，如果涂料液滴在枪口处带上多个负电荷，受同性相斥作用，涂料液滴将进一步雾化，带负电荷的涂料雾受电场力作用沉积于正极工件表面，如图 6-12 所示。

静电喷涂的电压一般在（6 ~ 10）$\times 10^4$V 之间。在向喷枪施加正高电压时，电晕放电的起始电压（$V_0$）要比负极性电晕放电的高（见图 6-13），相应地，电晕放电的电压范围（$V_0 \sim V_{max}$）较窄，很容易击穿空气绝缘层产生火花放电。因此静电喷涂都是喷枪接负电，手提式喷枪采取 $6 \times 10^4$V 电压，定置式喷枪采取较高的（8 ~ 9）$\times 10^4$V 电压，更高电压的设备要求苛刻，因而不采用。

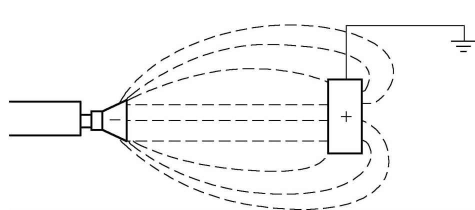



图 6-12　静电喷涂

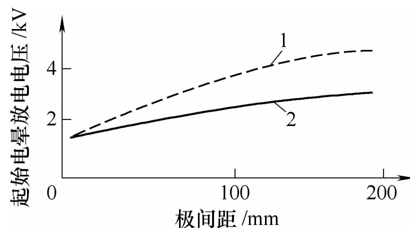



图 6-13　极性与起始电晕放电电压的关系

1—正极电晕放电　2—负极电晕放电

## 6.2.2　静电涂装有什么特点?

1）涂料利用率大幅度提高，一般用空气喷涂时涂料的利用率仅为 30% ~60%，若工件为网状结构，涂料利用率低至 30% 以下。采用静电涂装，涂料粒子在电场作用力下被吸附于工件表面，显著减少飞散及回弹，涂料利用率相比空气喷涂可以提高 1 ~2 倍。

2）提高涂装产品质量，带电涂料粒子受电场作用于工件上放电沉积，并会依据电力线的分布产生环抱效应，通过对喷枪的配置及喷涂参数的调节，可以获得均匀、丰满、平整、光滑的涂层，达到高装饰的目的。

3）提高劳动生产率，静电涂装适于大批量生产，可实现多支喷枪同时喷涂，易于实现自动化流水作业，生产效率比空气喷涂提高 1 ~3 倍，圆盘式静电涂装效率更高。

4）显著改善涂装作业环境，静电涂装产生的飞散漆雾少，并在喷涂室中进行，有

利于环保治理及改善劳动条件。

5）静电涂装存在高压火花放电引起火灾的危险，当工件晃动或因操作失误造成极间距离过近时，会引起打火，因此在静电喷涂室中设置安全灭火装置甚为重要。

6）由于静电场的尖端效应，对坑凹部分会产生电场屏蔽，形成涂层较薄，故一般还要设手工补喷工位，以弥补缺陷。对塑料、木材、橡胶、玻璃等非导体工件，要经特殊表面预处理才能进行静电喷涂。

7）静电涂装对涂料的电性能有一定要求，并易受环境温度、湿度的影响。

### 6.2.3　静电喷涂有哪些类型?

静电喷涂的关键设备有高压静电控制器、高压静电发生器和喷枪，有些发生器设置在静电喷枪内。静电喷枪依其雾化原理不同，主要分为离心力静电雾化、液压静电雾化和空气静电雾化三大类。

### 6.2.4　静电喷涂的影响因素有哪些?

1. 静电压

电压高低影响涂料的荷电率和附着率，静电效果随着电压的提高而增加，但在100kV 以上，涂料附着率随电压升高不再明显增加（见图 6-14）。因此，电压一般都在100kV 以下，手提式为 $6\times10^4$V，定置式喷枪则为（8～9）$\times10^4$V，电压按喷枪种类已经确定。

2. 喷枪与工件的距离

一般每 1cm 间隔的空气能承载 10kV 电场作用，当电场强度为 90kV 时，则理论极间距离至少为 9cm，低于此极限值就会有极间击穿，从而有产生火灾的危险，实际使用时，必须取三倍的安全系数。喷涂效率与极间距离的关系如图 6-15 所示。从图中可以看出，极间距离越近，喷涂效率越高，结合安全性及质量因素考虑，当电场强度为90kV 时，极间距离以 300～350mm 为宜，距离过远会显著降低喷涂效率。

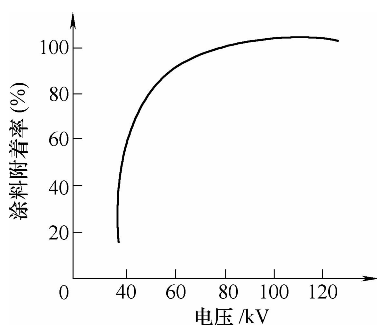



图 6-14　电压与涂料附着率的关系

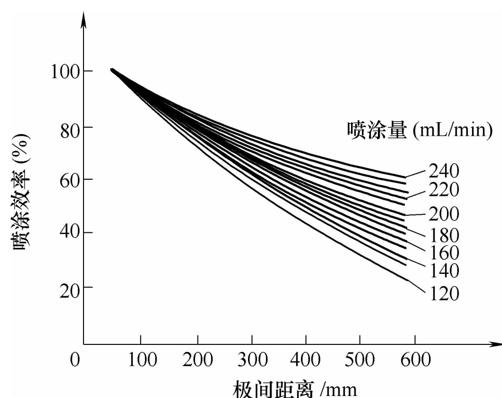



图 6-15　喷涂效率与极间距离的关系

3. 挂具

挂具不能前后摆动，以免造成喷涂距离忽近忽远，这不仅会导致涂膜厚度不均匀而

影响平整度，还会带来安全隐患。装挂的工件离悬链或地面应不少于1m，以免影响涂料在工件上的附着率。应定期清除附着在挂钩上的涂料，确保工件有良好的接地通路，防止卸件时被电击。

4. 静电喷枪的布置

对于旋杯式静电喷枪，喷雾为环状，因此都采取多把喷枪喷涂，使涂膜厚度均匀。多把喷枪的布置需考虑工件形状及喷枪间涂料雾不相干扰的因素。喷枪之间的距离以喷雾幅宽的1.5倍来确定，一般在800mm左右。

5. 喷出量

喷出量大时，有些涂料液滴在枪口处无法带上电荷，静电效果也就无法得到有效发挥，从这方面看，静电喷涂也需通过设置多把喷枪来增加总涂料流出量，但为了获得高生产效率，喷出量应在保证静电效果的前提下越大越好。

6. 旋杯口径

旋杯口径大，涂料雾细，喷雾图幅宽但中空也大。为了使膜厚均匀，一般根据工件形状与宽度，将不同口径旋杯的喷枪组合使用。

7. 涂料的特性要求

涂料的电阻率一般在100MΩ·cm以上，阻抗大的涂料在静电喷涂时、荷电率很差。因此，用于静电喷涂的涂料需要用二丙酮醇等极性溶剂来提高涂料的导电性，使涂料电阻率达到5~50MΩ·cm。导电性较好的涂料，电荷消失速度太快，静电压上不去。例如，水性涂料和金属底色漆，涂料容器必须与地面保持良好绝缘，才能实施静电喷涂。

涂料粘度影响雾化性能，一般粘度在20s左右。将涂料加热到40℃，可以提高涂料的施工固体含量。

### 6.2.5 静电涂装设备的类型有哪些?

静电涂装设备的类型包括栅网式静电涂装装置、旋杯式静电设备、手提式空气雾化静电喷涂设备、低压无气静电喷涂设备、空气辅助式低压无气静电喷涂设备和旋盘式静电喷涂设备。各种类型的静电喷枪有其各自的特点，喷枪的选型主要根据工件形状和批量大小来确定。

### 6.2.6 静电喷涂室的组成有哪些?

静电喷涂室由室体、通风装置、安全装置等组成。

室体是静电喷涂室的主体，分为敞开式、通过式、死端式及Ω型静电喷涂室，其选型根据工件大小、形状及生产批量规模来确定。对于批量大的一般均采用通过式或Ω型静电喷涂室，采用悬挂输送机运送工件。室体的长度由喷枪的配置决定；室体的宽度由工件的宽度及喷枪到工件和室壁之间的距离确定，其中喷枪到室壁的距离不得小于1000mm；室体高度由工件高度确定，工件距地面高度一般不应小于1000mm。在室体的两端设有门洞，供工件出入室内。为防止漆雾扩散，应尽可能减小门洞的尺寸。在室体的两侧设有侧门，供操作人员进入室内调节喷枪之用。此外，室体应设置玻璃窗，供观察及采光使用。

通风装置是将室内的有机溶剂及时排出室外。由于对环境保护的要求逐渐提高，应

对排放进行治理，可采用水帘式、水旋式或文氏管式等漆雾处理技术。通风风速由雾化方式决定，但要保证室内风速不会引起漆雾的飞散。单纯的静电雾化方式的风速为 0.1 ~0.4m/s，空气辅助无气静电雾化方式为 0.3 ~ 0.7m/s，无气静电雾化方式为 0.2 ~ 0.5m/s。

室体内应设置安全装置，一旦产生过电流导致火花放电时，应立即自动切断喷室内总电源，并有灭火装置，防止火灾发生。此外，室内应设置足够的照明装置，均采用防爆型灯具。图 6-16 所示为通过式及 Ω 型静电喷涂室示意图。

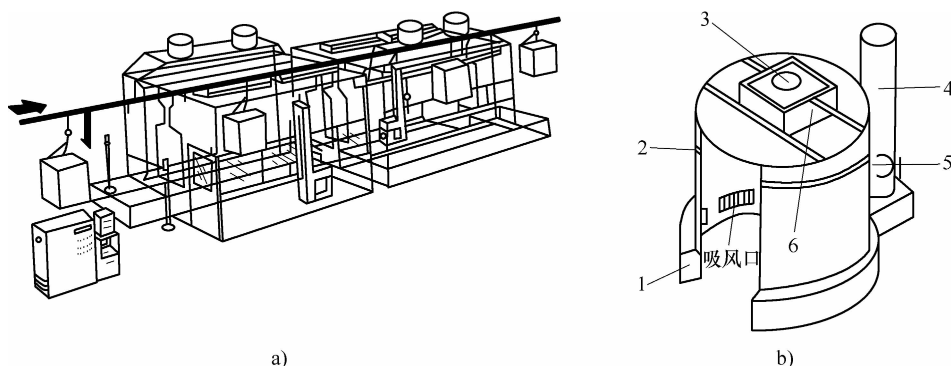



图 6-16　通过式及 Ω 型静电喷涂室示意图

a）通过式静电喷涂室　b）Ω 型静电喷涂室

1、4—排气排　2—自然送风口　3—喷枪升降装置安装板　5—调节阀　6—护板

### 6.2.7　什么是高压无气静电喷涂设备？

高压无气静电喷涂设备是结合了无气喷涂技术与静电喷涂技术二者特点的设备，其结构如图 6-17 所示。涂料的压力被高压柱塞泵压缩至 10MPa 左右（低于单纯无气喷涂压力），通过喷枪瞬时失压而雾化，并由高电位电极放电而带上电荷，在电场作用下，吸附于工件表面。这种设备与空气雾化静电喷涂设备相比，喷涂量较高，雾化涂料粒子的动力较大。另外，由于涂料不直接与压缩空气接触，不会被污染，有利于提高喷涂层的质量。

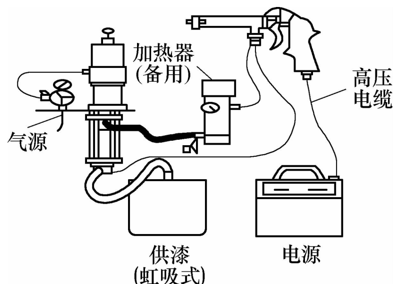



图 6-17　高压无气静电喷涂设备的结构

主要技术参数：喷涂量为 150 ~ 2500$cm^3$/min；喷幅宽度为 100 ~ 500mm；涂料压力为 3.5 ~ 18MPa；输出电压为 0 ~ 75kV；工作电流为 95 ~ 100A。

低压无气静电喷涂设备典型产品有美国 Binks 公司的 Mode71 系列喷枪。

### 6.2.8　什么是空气辅助式低压无气静电喷涂设备？

空气辅助式低压无气静电喷涂设备是在低压无气静电喷涂设备的基础上，在喷幅的

外缘再加上辅助空气，目的是使低压空气对漆雾形成包容状态，提高涂料的利用率，并防止漆雾的飞散。其结构如图6-18所示。

主要技术参数：喷涂量150～2500cm³/min；喷幅宽度100～300mm；涂料压力3.5～18MPa；输出电压0～75kV；工作电流95～100μA；辅助空气压力0.1～0.35MPa。

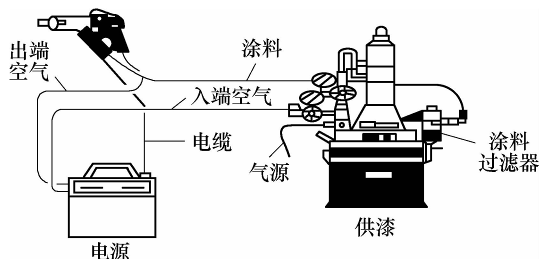



图6-18　空气辅助式低压无气静电喷涂设备的结构

空气辅助式低压无气静电喷涂设备典型产品有美国Binks公司的Mode88系列喷枪。

### 6.2.9　静电涂装设备的选择原则是什么？

在众多制造商推出品种繁复的静电喷涂设备中，如何正确选择适合的设备，对于涂装技术工作人员来说是十分重要的工作。从使用角度考虑选型的基本依据主要有：涂装质量要求是高装饰性还是一般要求、生产纲领、涂装成本、生产场地条件、投资预算、工程进度等。根据使用要求再对各种不同设备进行分析评价，选择最合适的设备。评价设备主要内容有：

1）静电设备的基本性能。最主要的是考核设备的喷涂效率、喷幅宽度、喷涂量及雾化涂料粒子分布的均匀性。平均粒子小，即雾化效果很好的设备，涂层厚度为20μm时即可获得平整光滑的外观，而雾化粒子较粗的设备，厚度必须达到30μm才能得到同样的外观，显然涂料消耗量大大增加，提高了成本。因此在进行大规模批量生产，且外观质量要求很高的条件下，可选择增加一次性投资购置性能优异的设备来降低日常消耗量，从总的经济角度来看是合算的。

2）设备运行的安全性。静电喷涂通常使用易燃易爆溶剂，极易引起火灾，因此设备的安全装置十分重要，必须符合GB 6514—2008《涂装作业安全规程　涂漆工艺安全及其通风净化》的规定，并配备自动灭火装置。

3）设备的运行适应性。要考察当工件变化，环境温度、湿度，色泽变更等涂装条件变化时设备的适应性，目前除了像汽车涂装有空调喷涂室，相对涂装条件较一致以外，其他产品涂装均存在涂装条件变化的问题，这时设备的适应性就显得非常重要了。

4）制造商售后服务的网络、能力、及时性也是选型考虑的因素。首先要求设备质量好，故障率低，而一旦出现故障，在相同的条件下，应选择售后技术服务条件优越的产品，并要提供必需的易损件。

5）设备的可靠性及耐久性。这也是考核品质的重要指标，往往有些产品，新出厂时各项性能均达指标，但用后不久就出现绝缘损坏、电容击穿、旋转磨损破坏等现象，这种设备不宜选用。

6）运行成本。应对设备涂料消耗、辅助材料费、直接人工费、燃料费、水电费等进行综合核算，在符合上述各项条件下，尽量选择运行成本较低的设备。

## 6.3 空气喷涂设备

### 6.3.1 空气喷涂的原理是什么？

空气喷涂的原理是利用压缩空气从空气帽的中心孔喷出，在涂料喷嘴前端形成负压区，使涂料容器中的涂料从涂料喷嘴喷出，并迅速进入高速压缩空气流，使液-气相急剧扩散，涂料被微粒化，并呈漆雾状飞向且附着在被涂物表面，涂料雾粒迅速集聚成连续的涂膜如图 6-19 所示。

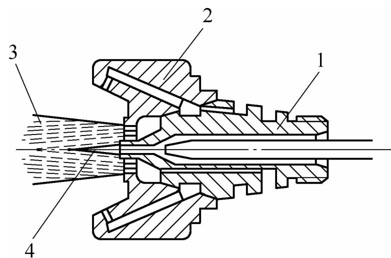



图 6-19 空气喷涂喷枪工作原理
1—涂料喷嘴 2—空气帽
3—空气喷射 4—负压区

### 6.3.2 空气喷涂有哪些特点？

空气喷涂最初是为硝基涂料等快干涂料开发的涂装方法。该方法对刷涂性很差的涂料很容易涂布，它具有以下特点：

1）涂装效率高，每小时可喷涂 150 ~ 200$m^2$，是刷涂的 8 ~ 10 倍。

2）适应性强，能适应各种涂料和各种材质、形状的工件，不受场地限制（但环境不允许有灰尘）。

3）只要有电源就可使用，特别适合于快干型涂料的施工，是目前广泛采用的一种涂装方法。

4）涂膜厚度均匀、光滑平整，外观装饰性好。

5）漆雾飞散。空气喷涂时漆雾易飞散，污染环境，涂料损耗大，涂料利用率一般为 50% 左右，甚至更少。

6）涂膜质量好，空气喷涂所获得的涂膜平整光滑，可达到最好的装饰性。

7）涂料利用率低，一般只有 50% ~60%，小件只有 15% ~30%。飞散的涂料雾造成环境的进一步恶化，大量生产时，应在专门的喷涂室内进行。

8）稀释剂用量大，作业时溶剂大量挥发，易造成空气污染，作业环境恶劣，易引起燃烧和爆炸等事故，作业点必须具备良好的通风设施。

### 6.3.3 涂料增压罐的结构是怎样的？

在进行批量作业时，应配置涂料增压罐。罐的容积一般在 20 ~ 100L 之间，对涂料施加的压力范围是 0.15 ~ 0.30MPa。增压罐中设置有搅拌和热交换装置。搅拌目的是防止涂料发生沉淀；热交换器用于保持涂料的温度不变，确保在施工过程中涂料有相对不变的、合适的粘度。

固定式涂料增压罐是一个密封的容器，其结构如图 6-20 所示。罐内放入涂料桶以一定的压力将涂料送到喷漆枪，取代喷漆枪的漆壶。其容量大小一般以能满足当班作业的涂料消耗量为宜。

在顶盖上装有带压力表的进气开关和输漆开关以及风动搅拌器的叶片。使用时，将上盖的锁紧螺母松开，打开上盖放入装有调配好的涂料的内桶，盖上上盖，拧紧螺母，

接通压缩空气，调整减压阀至0.05～0.15MPa。搅拌器开始工作，涂料通过过滤网，经输漆管道通往喷漆枪。

### 6.3.4 喷枪的雾化方式分哪几类？

喷枪雾化涂料的方式分为外混式和内混式两大类，两者都是借助压缩空气的急剧膨胀与扩散作用使涂料雾化，形成喷雾图形，但由于雾化方式不同，其用途也不相同，使用最广的是外混式。其构造与特点见表6-4。

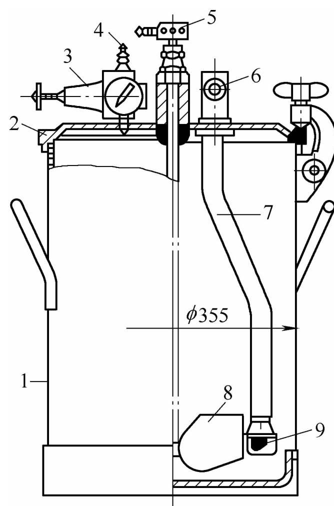



图6-20 固定式涂料增压罐的结构
1—桶体 2—上盖 3—减压阀 4—压缩空气入口 5—风动叶片 6—输漆阀 7—输漆管 8—搅拌叶轮 9—过滤网

### 6.3.5 喷枪按涂料供给方式分哪几类？

喷枪按涂料供给方式分为吸上式、重力式和压送式三种，如图6-21所示。

吸上式喷枪靠高速气流在喷嘴处产生的负压吸上涂料并雾化，它的涂料喷出量与涂料粘度和密度有关，与喷嘴口径也有关系。大口径喷枪虽然涂料流出量多，但若空气压力不够，易产生雾化不良。涂料罐的容量一般都在1L左右，适用于非连续小批量作业。

重力式喷枪涂料罐在喷枪上方，涂料靠自身重力和高速气流的负压作用流到喷嘴，故涂料流出量比类似吸上式喷枪大。涂料罐容积一般为250～500mL，喷涂量少但清洗快捷方便，换色容易。换用高位槽也可以满足大量喷涂作业。

**表6-4 空气喷枪的构造与特点**

| 雾化方式 | 枪头构造简图 | 特点 |
|---|---|---|
| 外混式 | 1—空气帽 2—涂料喷嘴 3—针阀 | 1. 涂料与空气在空气帽和涂料喷嘴的外侧混合<br>2. 适宜雾化流动性能良好、容易雾化、粘度不高的各种涂料，从底漆到高装饰性面漆，包括金属闪光漆、桔纹漆等美术漆都适应这种雾化方式 |
| 内混式 | 1—空气帽 2—涂料喷嘴 3—针阀 | 1. 涂料与空气在空气帽内侧混合，然后从空气帽中心孔喷出扩散、雾化<br>2. 适宜雾化高粘度、厚膜型涂料，也适宜雾化粘结剂、密封剂和彩色水泥（砂浆）涂料 |

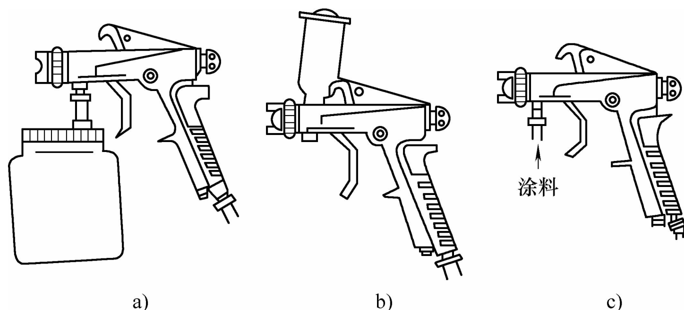



图 6-21　喷枪涂料供给方式
a）吸上式　b）重力式　c）压送式

压送式喷枪轻巧灵活，涂料流出量可根据涂料压力较大幅度地调整，可供多把喷枪同时作业，以满足大量生产作业的需求。

喷枪除了上述几种基本形式外，还有长柄喷枪、长枪头喷枪、无雾喷枪、自动喷枪等，可满足各种特殊的生产作业要求。

### 6.3.6　空气喷涂枪的构造是什么？

喷涂枪由枪头、调节机构、枪体三部分组成，其整体构造如图 6-22 所示。枪头由空气帽、涂料喷嘴两部分组成，其具有将涂料雾化，并以圆形或椭圆形的喷雾图形喷涂至被涂物表面的作用。调节机构是指调节涂料喷出量、压缩空气流量和喷雾图形的装置。枪体上装有扳机及各种防止涂料和空气泄漏的密封件，并制成便于手握的形状。构成喷枪的零部件有几十件之多，如图 6-23 所示。

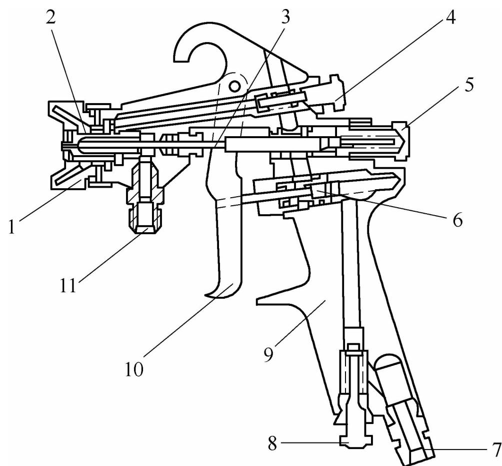



图 6-22　喷涂枪整体构造
1—空气帽　2—涂料喷嘴　3—针阀　4—喷雾图形调节旋钮　5—涂料喷出量调节旋钮　6—空气阀　7—空气管接头　8—空气量调节装置　9—枪身　10—扳机　11—涂料管接头

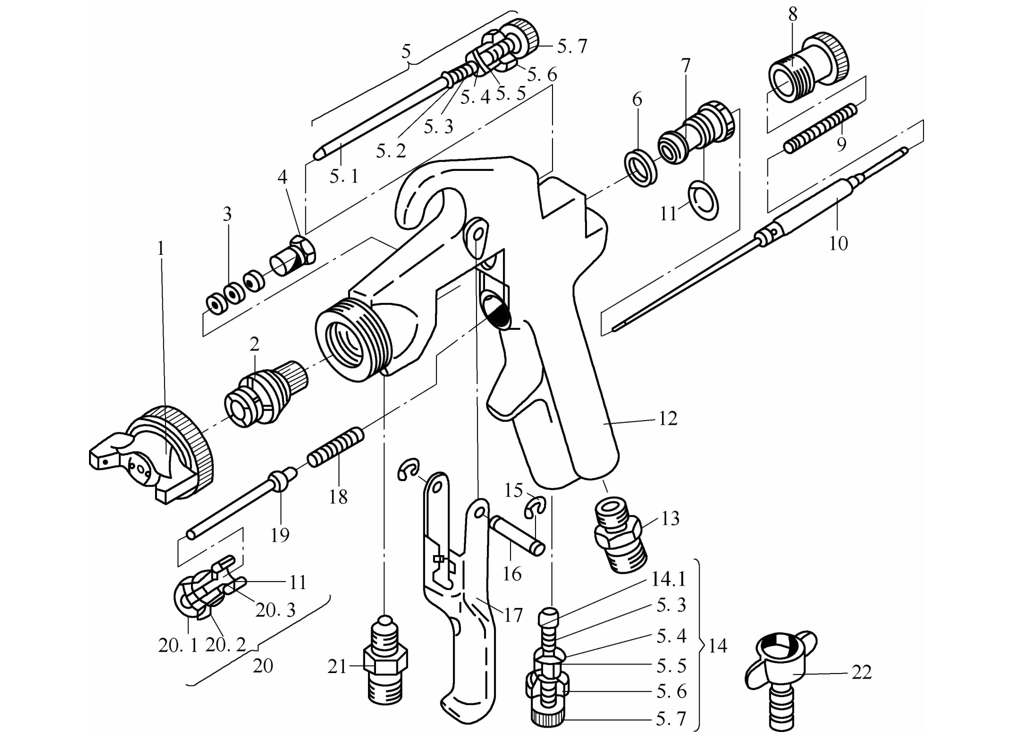
### 6.3.7　空气帽的类型举例

空气帽的作用是将涂料雾化，并形成所要求的喷雾图形。空气帽有喷出压缩空气的中心孔、侧面空气孔和辅助空气孔，由于其作用不同，这些孔的位置、数量与孔径都各有差异，如图 6-24 所示。

### 6.3.8　枪体中扳机有怎样的构造？

枪体中除支撑枪头和调节机构外，还装有扳机，用于控制喷枪的压缩空气和涂料的喷出。扳机构造采用分段喷出的结构，如图 6-25 所示。当扣动扳机时驱动空气阀阀杆 2 后移，首先开通压缩空气通道，随着针阀阀杆 1 继续后移，涂料通道才被开通，因此，首先喷出的是压缩空气，接着喷出涂料。当扳机折回时，首先涂料停止喷出，接着压缩空气停止喷出。这种分段结构使喷出

的涂料始终保持雾化状态。




| 序　号 | 零部件名称 | 数　量 |
|---|---|---|
| 1 | 空气帽 | 1 |
| 2 | 涂料喷嘴 | 1 |
| 3 | 针阀垫圈 | 3 |
| 4 | 针阀衬垫顶 | 1 |
| 5 | 喷雾图形调节装置 | 1 |
| 5.1 | 喷雾图形调节阀 | 1 |
| 5.2 | 定位环 | 1 |
| 5.3 | 调节弹簧 | 1 |
| 5.4 | 垫圈 | 1 |
| 5.5 | O 形环 | 1 |
| 5.6 | 调节导杆 | 1 |
| 5.7 | 调节旋钮 | 1 |
| 6 | 密封垫 | 1 |
| 7 | 针阀导杆 | 1 |
| 8 | 涂料喷出量调节旋钮 | 1 |
| 9 | 针阀弹簧 | 1 |
| 10 | 针阀 | 1 |
| 11 | O 形环 | 1 |
| 12 | 枪体 | 1 |
| 13 | 空气管接头 | 1 |

| 序　号 | 零部件名称 | 数　量 |
|---|---|---|
| 14 | 空气量调节装置 | 1 |
| 14.1 | 空气量调节阀 | 1 |
| 5.3 | 调节弹簧 | 1 |
| 5.4 | 垫圈 | 1 |
| 5.5 | O 形环 | 1 |
| 5.6 | 调节导杆 | 1 |
| 5.7 | 调节旋钮 | 1 |
| 15 | 定位环 | 2 |
| 16 | 扳机定位轴 | 1 |
| 17 | 扳机 | 1 |
| 18 | 空气阀弹簧 | 1 |
| 19 | 空气阀 | 1 |
| 20 | 空气调节座 | 1 |
| 20.1 | 空气阀衬垫顶 | 1 |
| 20.2 | J 形衬垫 | 1 |
| 20.3 | 空气阀片 | 1 |
| 11 | O 形环 | 1 |
| 21 | 涂料管接头 | 1 |
| 22 | 软管接头 | 1 |

图 6-23　常用喷枪构造零部件

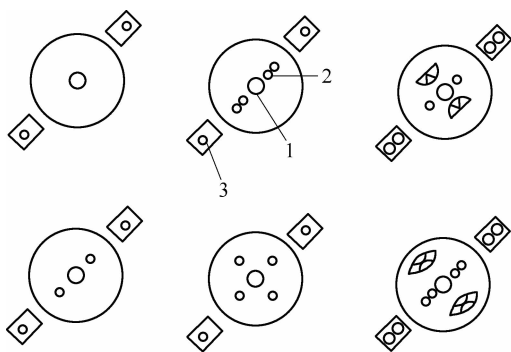



图 6-24　空气帽举例

1—中心孔　2—辅助空气孔

3—侧面空气孔

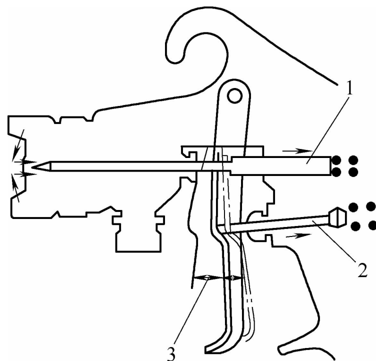



图 6-25　扳机的分段喷出结构

1—针阀阀杆　2—空气阀阀杆

3—扳机移动间隙

## 6.3.9　空气喷涂操作方法是什么?

1. 涂料雾化特性

涂料的雾化颗粒细，涂膜外观质量好，雾化效果很好。雾化特性可用下式描述：

$$d_0 = (3.6 \times 10^5 / Q_i)^{0.75}$$

式中　$d_0$——涂料雾粒平均粒径（μm）；

$Q_i$——空气耗量与涂料流出量的比值。

从图 6-26 可比较直观地看出 $d_0$ 和 $Q_i$ 的关系。

2. 涂料流出量

涂料流出量由需求决定。根据工件大小，分别选用小型或大型喷枪。对吸上式或重力式喷枪，提高压缩空气压力对增大涂料流出量的作用是很有限的，并受到雾化的限制，一般通过调整针阀来适当增加涂料流出量。换用较大口径的喷枪是较大幅度地增加涂料流出量的最好办法。例如，面漆最大可用 1.5mm 口径的喷枪，底漆最大可用 2.5mm 口径的喷枪。压送式喷枪的涂料流出量可根据涂料压力任意调节，所以喷枪口径相对较小。

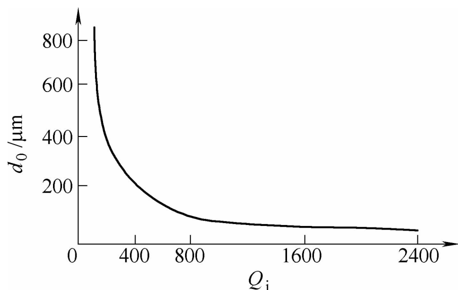



图 6-26　涂料雾化曲线

3. 喷雾幅度

空气压力对喷雾幅度的影响较小，通常只能通过辅助空气孔来调节，根据工件大小调至适宜幅度。

4. 涂料雾沉积量及膜厚均匀性

涂料雾沉积量随喷涂距离的延长按比例降低，小型喷枪的喷涂距离为 15 ~ 25cm，大型喷枪的喷涂距离为 20 ~ 30cm。喷距太远时，涂膜薄且粗糙无光；太近则厚且流挂，加上气流反弹作用还会产生桔皮现象。

膜厚均匀性与喷枪移动速度、图形搭接有关。喷枪应正对工件表面以 30～60cm/s 的速度匀速移动。太快会造成露底，太慢会产生流挂，停顿 0.1s 时就会造成严重流挂。因此开枪点和停枪点不得正对喷涂区域。喷雾图形一般中间厚、外围薄，为了保证整个涂层膜厚的均匀性，圆形图形采取 1/2 搭接，扁平形的采取 1/4 搭接，椭圆形的采取 1/3 搭接。

5. 涂料粘度对雾化性的影响

涂料粘度除了影响涂料流出量外，对雾化效果也有极大的影响，如图 6-27 所示。

不同涂料由于其特性差别，喷涂粘度是不一样的，例如，硝基纤维素涂料等快干涂料为 16～18s，醇酸涂料为 25～30s，丙烯酸烘漆和氨基烘漆为 18～25s。施工时，必须按一定的稀释比调至各自的喷涂粘度。涂料粘度也随环境温度的变化而改变，如图 6-28 所示。因此，进行大喷涂作业时，宜将涂料温度恒定在 20～30℃，以免温度较低涂料粘度太高而雾化不良，造成涂膜不平整、外观差。

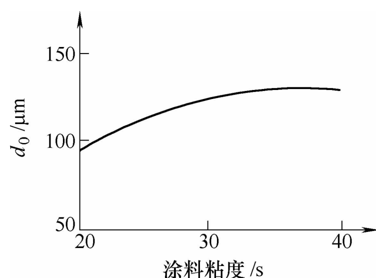



图 6-27　涂料粘度对雾化效果的影响

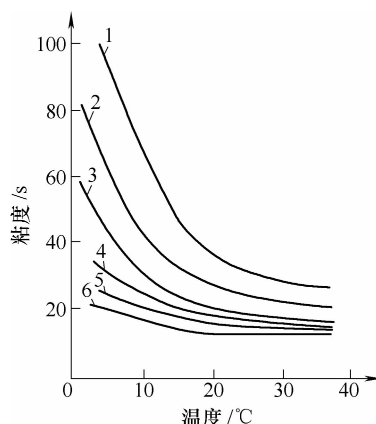



图 6-28　温度对粘度的影响

1—稀释 10%　2—稀释 15%　3—稀释 20%

4—稀释 25%　5—稀释 30%　6—稀释 35%

### 6.3.10　喷涂作业中喷涂装置的注意事项有哪些？

1. 防止沾污喷涂装置

喷涂装置很不容易完全避免沾污、保持清洁，但喷涂作业时必须使喷涂装置处于清洁状态。如果喷涂装置粘附有灰尘、废漆等污物，喷涂时将会影响喷涂质量，特别是喷枪枪头如果粘附有污物，将会影响雾化效果。喷涂装置在清洗时，要将粘附的污物刷洗干净。

2. 防止杂物混入涂料

喷涂前，必须将涂料过滤，除去涂料中的杂质。喷涂装置所有涂料通道要保持清洁，避免因前次喷涂后清洗不净的残留物堵塞喷枪和管路。拆卸和组装时，要避免粘附灰尘和其他脏物，以免混入涂料影响涂膜外观。

3. 注意运动部件的磨损

涂料中的硬质颜填料容易磨损喷涂装置的运动部件，喷涂装置的故障大多由此而产生。因此，应经常检查运动部件的磨损情况与密封件的密封情况，以便尽早维护或更换。

4. 防止火花放电

溶剂型涂料多数是绝缘体，在喷涂作业时，涂料大量流动或向容器内大量注入涂料时，涂料与被涂物或容器接触，由于相互急剧摩擦而产生静电荷，这些静电荷集聚在被涂物或容器表面，当接触接地的物品时，则产生火花放电，这是涂装作业引起火灾的原因之一，因此，所有涂装置都应有可靠的接地措施。

5. 注意稀释剂对管路和密封垫的侵蚀

由于涂料的稀释剂对管路和密封垫有侵蚀作用，因此必须采用耐稀释剂侵蚀的管路和密封垫。但是，一般涂料不通过的部位，可以采用不十分耐稀释剂的材料，清洗时要避免与稀释剂接触。

### 6.3.11　喷涂作业有哪些要点?

在进行喷涂作业时，只有掌握好喷涂距离、喷枪运行速度、喷雾图形的搭接等要领，才能获得满意的喷涂效果。

1. 喷涂距离

喷涂距离是指喷枪前端与被涂物之间的距离。在一般情况下，使用大型喷枪喷涂时，喷涂距离应为20～30cm；使用小型喷枪喷涂时，喷涂距离应为15～25cm。喷涂时，保持恒定的喷涂距离是确保涂膜厚度均匀一致的重要因素之一。

2. 喷枪运行速度

喷涂作业时，喷枪运行速度要适当，并保持恒定。喷枪的运行速度一般应控制在30～60cm/s范围内。当运行速度大于60cm/s时，形成的涂膜薄、易漏底；当运行速度低于30cm/s时，形成的漆膜厚，易流挂。被涂物大且表面较平整时，在增加涂料喷出量的前提下，运行速度可快一点；被涂物小且表面凹凸不平时，运行速度可慢一点。

喷枪的运行速度与涂膜厚度的关系，如图6-29所示。当涂料喷出量恒定时，运行速度为50cm/s时的涂膜厚度与25cm/s时的涂膜厚度相差4倍，所以，应按照涂膜厚度的要求确定适当的运行速度，并保持恒定，否则，会得到不均匀的涂膜厚度。

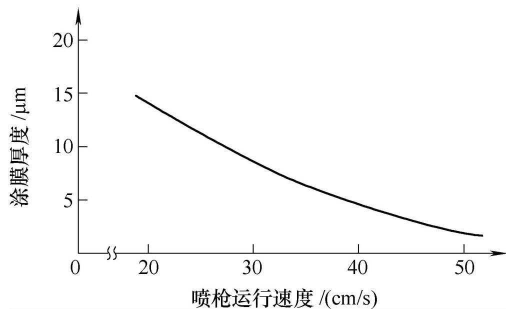



图6-29　喷枪运行速度与涂膜厚度的关系

3. 喷雾图形的搭接

喷雾图形的搭接是指喷涂时，喷雾图形之间的部分重叠。由于喷雾图形中部漆膜较厚，边沿较薄，喷涂时必须使前后喷雾图形相互搭接，才能保持涂膜均匀一致，如图6-30所示。控制相互搭接的宽度，在很大程度上影响涂膜厚度的均匀性。搭接的宽度应

视喷雾图形的形状不同而各有差异，如图 6-31 所示。椭圆形、橄榄形和圆形三种喷雾图形的平整度是有差别的。

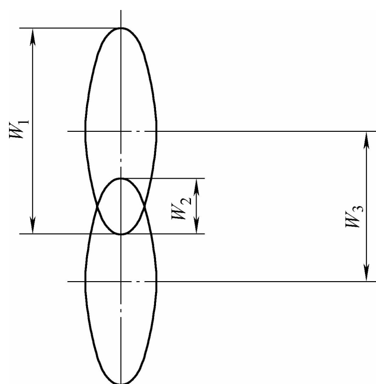



图 6-30　喷雾图形的搭接
$W_1$—喷雾图形幅宽　$W_2$—重叠宽度
$W_3$—搭接间距

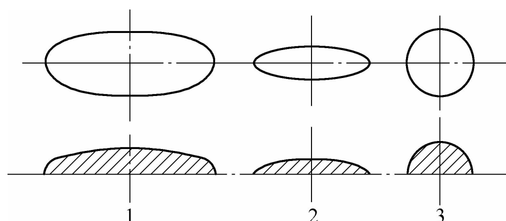



图 6-31　喷雾图形的种类与平整度
1—椭圆形　2—橄榄形　3—圆形

# 6.4　电泳涂装设备

## 6.4.1　电泳涂装设备由哪几部分构成?

电泳涂装设备由主体设备、前后处理设备、供水管道及输送装置等构成。电泳涂装主体设备由槽体、搅拌循环系统、涂料液温度控制、电极、涂料补给、供电装置、通风装置及电泳后水洗装置等部分组成，如图 6-32 所示。此外，有时还附有贮漆罐供检修槽体或排除故障时贮存涂料液之用。

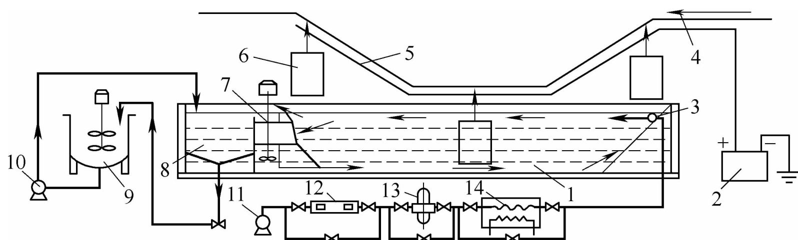



图 6-32　电泳涂装主体设备
1—主槽　2—直流电源　3—喷嘴　4—输送链　5—供电机构　6—工件
7—搅拌器　8—溢流槽　9—涂料补充槽　10—泵　11—循环泵
12—磁性过滤器　13—过滤器　14—热交换器

## 6.4.2　槽体具有哪两种形式?

根据工件的输送方式不同，槽体分为船形槽和矩形槽两种形式，船形槽一般适用于连续通过式电泳涂装生产线，矩形槽适用于间歇垂直升降式电泳涂装生产线。槽体通常

由主槽和溢流槽组成，无论何种形式的槽体，为避免出现死角造成漆液沉淀，槽底部都要求采用圆弧过渡。溢流槽具有控制主槽内漆液高度和排除漆液表面泡沫的作用，保证工件入槽和出槽区的液面没有泡沫。溢流槽的体积通常为主槽的 1/10，否则不能保证漆液的正常循环。溢流槽上可安装滤网，以除去漆液中的杂质，排除电泳过程中产生的泡沫，滤网通过量可按 40 ~ 50$m^3$/(h · $m^2$) 流量计算，网孔大小为 0.450 ~ 0.180mm (40 ~ 80 目)，滤网材料可采用不锈钢丝或尼龙丝等。

### 6.4.3　怎样选择电极极板的材料?

一般根据电泳涂料的种类来选择极板材料，阳极电泳极板可采用普通钢板或不锈钢板制造，而阴极电泳极板可采用不锈钢板、铁合金板或石墨板制造。极板一般以数块连续的方式设置在主槽两侧，其数量由极板面积与工件面积之比来决定。

### 6.4.4　循环搅拌系统的作用是什么?

循环搅拌系统的作用是保证整个电泳槽内漆液成分和温度的均匀，防止漆液颜料沉淀。循环搅拌系统由内、外两部分循环组成。内循环采用浸入式混流搅拌器，外循环采用离心泵搅拌循环漆液。在外循环系统中，串联磁性过滤器和圆筒过滤器，以除去磁性微粒和机械杂质。圆筒过滤器的滤网采用孔径约 0.154mm（100 目）的尼龙丝网或不锈钢丝网，漆液通过滤网流速为 2 ~ 3m/min，最大压力损失为 0.05MPa。目前在外循环系统中，往往将超滤器联合设置，循环泵的流量应保证使整个电泳槽的漆液在 1h 内循环 4 ~ 6 次。

### 6.4.5　日本的电泳槽液逆向流循环方式是什么?

为提高电泳涂装的质量，使电泳涂膜烘干后的尘粒不良率为零，努力使预处理工艺不将尘粒（尘埃、颗粒）带入电泳槽中，并确实清除电泳槽内的尘粒，日本帕卡工程公司在对白车身的尘粒进行彻底的调查分析，研究尘粒的性质（尘埃的种类、尘埃的质量和个数、白车身各部位的尘埃附着率、尘埃的形状），并改进预处理设备的清渣措施（铁粉和磷化沉渣清除工艺、高压喷洗和烘流等）基础上研究改进了电泳槽液的循环方式，创立 PMT（Parker Magic Turn）逆向流循环方式（专利技术）。2007 年 10 月该公司在我国汽车涂装技术交流会（南京）上宣讲了 PMT 逆向流循环技术，现摘录介绍如下。

日本帕卡工程公司在电泳槽液循环方式和电泳槽及循环系统的结构上已进行了两次大的改进，见表 6-5。

**表 6-5　电泳槽液逆向循环方式**

| | |
|---|---|
| 原来的方式<br>设备特征：1. 辅槽：出槽侧 1 个<br>2. 吸口：1 处<br>3. 过滤器设在槽内循环至辅槽部<br>4. 船型槽<br>问题点：1. 尘粒去除率低<br>2. 尘粒凝聚在底部<br>3. 发生尘粒再附着<br>4. 产品质量不稳定 | 工件运行方向<br>已往的电泳槽 |

（续）

| | |
|---|---|
| PE 标准方式：<br>设备特征：1. 辅槽：出槽侧 1 个<br>2. 吸口：3 处<br>3. 入槽部有特殊锥斗<br>4. 全量过滤<br>5. 泵：2 处（入槽锥斗处和辅槽下）<br>6. 表面为与车身顺向流，中间、底部为逆向流<br>7. 船型槽带锥头<br>尘埃大幅度削减，实际业绩较多 | PE标准的电泳槽 |
| PMT 方式<br>设备特征：1. 辅槽：2 个<br>2. 吸口：3 处<br>3. 入槽部有特殊锥斗<br>4. 全量过滤<br>5. 泵集中在一处<br>6. 表面、中间为与车身逆向流，底部为顺向流<br>7. 入槽端部槽壁弯曲<br>8. 喷嘴配置 | PMT 的电泳槽 |

### 6.4.6　涂料补给装置由哪些部分组成？

电泳涂装时，漆液的固体含量变化最好控制在 1%（质量分数）以内，当固体含量下降时，需及时补充原漆，有时则补充低胺值原漆，须通过补给装置进行。

补给装置由补漆槽、过滤器、电动搅拌器及输液泵等组成，设置在电泳槽附近，用管道、阀门与电泳槽相连接。加料时，先将电泳槽内的电泳漆液（约占补充涂料量的 50%）泵入补漆槽内，再将高浓度的电泳原漆输入补漆槽内，开动搅拌器，连续搅拌 20～30min，使其充分预稀释后，用泵通过过滤器徐徐输入电泳槽内。

### 6.4.7　电泳涂装室有哪些装置？

电泳涂装室（又称为封闭室）具有防尘、保护电泳槽和防止溶剂蒸气扩散的作用，该室一般用镀锌钢板，最好用铝合金和不锈钢材料制成，如果用普通钢板，必须涂环氧涂层。电泳涂装室留有出入门和玻璃窗，门上需装安全保护联锁装置，以防止正常工作时人员进入而发生触电事故。设置排风换气系统，生产期间的换气次数为 15～30 次/h，将气体直接排向室外或过滤后作为烘干室补充新鲜空气用，一般不设供风系统。

电泳涂装室的尺寸设计：内宽度为电泳槽宽度加两侧的通道（约 0.6m×2）；长度为电泳主槽及溢流槽长度，两端与预处理后的防尘通道和电泳后清洗连接；高度为被涂物出入口的轨顶高度和电泳槽两侧通道距离电泳槽边的高度（一般取 0.6m 左右）之和。电泳涂装室的结构与一般涂装室相同，两侧为带玻璃窗的间壁，照明灯具设置在玻璃窗外，照度不小于 200lx。

### 6.4.8 水洗装置由哪些部分构成?

在电泳涂装前常常要进行水洗，水洗设备如图 6-33 所示。

电泳涂漆后的水洗装置有喷射式和浸渍式两种类型。为了提高效率，有时将这两种形式结合，多用于清洗零件内腔。根据冲洗水的供给方式，喷射式水洗装置分为直接冲洗、单级循环清洗和多级循环清洗等方式。直接清洗是采用自来水直接冲洗浮漆后排放，排放水会造成环境污染且浪费水资源，目前基本不采用这种方式。单级循环清洗是清洗水循环使用，并补充清水稀释，将循环水控制在污染程度以内。多级循环清洗系统如图 6-34 所示，由两级以上清洗工位组成，清洗效果较好。

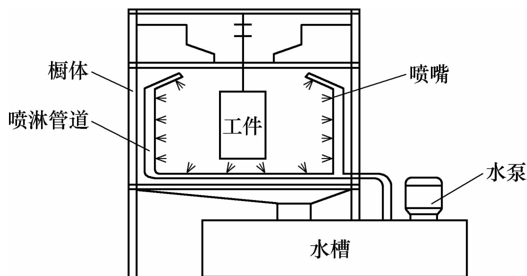


图 6-33 水洗设备

目前，工业上大多采用多级喷淋式水洗设备。由于电泳沉积涂层未经烘烤固化，机械强度很低，因此喷淋压力不宜过大，以免涂层被冲脱落。喷淋压力一般不大于 0.1MPa，喷嘴可采用莲蓬头形或螺旋形。喷嘴之间的距离为 200 ~ 250mm，喷嘴与工件距离为 250 ~ 300mm。为避免各级清洗室之间串水，应在各清洗室之间设有一定间隔，通常为工件高度的 1.5 ~ 2 倍。喷嘴结构如图 6-35 所示。

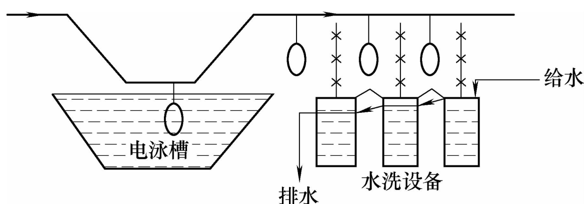


图 6-34 多级循环清洗系统

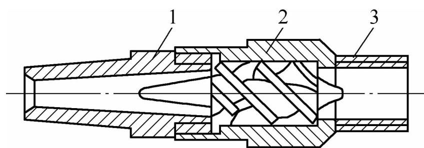


图 6-35 喷嘴结构

1—锥形喷头 2—螺旋体 3—连接体

### 6.4.9 电泳涂装超滤装置的结构由哪些组成?

超滤装置主要由预滤器、超滤器、循环泵及超滤液贮存输送装置等组成。预滤器的作用是预先将电泳涂料液中的机械杂质清除，以防止机械粒子进入超滤器划伤半透膜。预滤器的结构形式有很多，图 6-36 所示为常见的圆筒预滤器的结构，由筒体和圆筒形过滤网等组成。过滤网采用 80 ~ 150 目尼龙丝网或不锈钢丝制造，涂料液由下部进入预滤器，过滤后从上部排出，这样不仅使较粗大的机械杂质存积于容器的下部，避免堵塞过滤网，同时还便于将杂质集中排出。

超滤器是整个超滤系统的关键部件，根据半透膜载体的形式，超滤器可分为管式、板式及中空纤维式等多种形式，图 6-37 所示为常用的管式超滤器的结构。管式超滤器分串联、并联或串、并联结合的组合形式。其中，串联式所需的水泵流量较小，但占地面积大，透过液量小，目前应用较少。并联式也称为管束式超滤器，结构较紧凑，占地面积小，透过液量较大，相应水泵流量也较大。

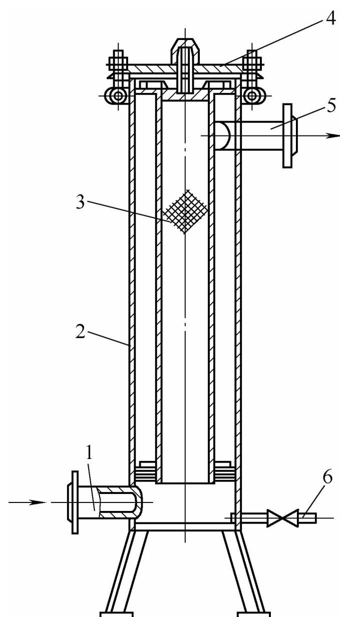



图 6-36 圆筒预滤器的结构
1—涂料液入口 2—筒体 3—过滤网
4—顶盖 5—涂料液出口
6—滤渣排放口

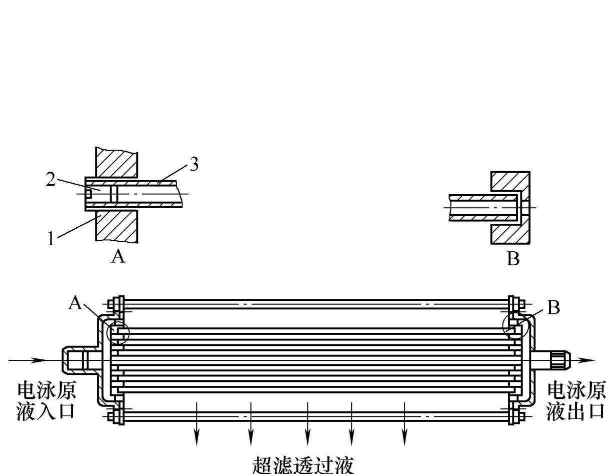



图 6-37 管式超滤器的结构
1—O 形密封圈 2—堵头 3—超滤管

半透膜的载体材料有聚氯乙烯微孔烧结管、玻璃纤维管和粘结砂体管等，其中聚氯乙烯微孔烧结管制造、应用性能良好。半透膜由乙酸纤维素等材料或高分子电解质复合材料制成，是孔径为 $1.0\times10^{-3}\sim1.0\times10^{-2}\mu m$ 具有各向异性的超细微小孔的透过性薄膜，将半透膜涂刮于载体材料表面，即成为超滤元件，将众多的超滤元件按一定形式组合即成为超滤器。

### 6.4.10 超滤器的组装形式有哪些?

根据超滤器的连接方式，超滤系统可分为串联、并联和串、并联相结合的组装方式。

串联组装方式所需泵的流量较小，每台超滤器的流量相等，但各台的压力不同，因涂料液流向递减，造成各台的透过量也不相同，不能使每台超滤器的透过能力得到充分发挥。此外，超滤装置的维护不方便，一般串联组装的组数不应大于 3 组。并联组装方式容易调节各台超滤器的压力和涂料流量，使之趋于相等，并能使每台超滤器的透过能力得到充分发挥，使每台超滤器透过液量相同。为保证电泳涂料液在超滤器内有一定的流速（一般为 3 ~ 4m/s），并联方式要求水泵的流量较大，否则将造成涂料液在超滤元件内沉积，影响超滤器的透过液量。

### 6.4.11 电泳槽液的更新途径是什么?

随着现代化学工业的发展，各种高性能、高耐蚀、低能耗、低污染的新型电泳涂料

不断问世，如何在原有的电泳涂装生产线上，采用新型电泳涂料来提高涂装产品的质量及社会与经济效益，是电泳涂装生产中常会遇到的问题，亦即存在槽液更新的问题。电泳槽液更新一般有以下两种途径：

（1）倒槽更新　采用废弃老槽液，另配新槽液一次性更新，此方法具有更新迅速，工艺参数调整一次完成，并可立即达到新型电泳涂料预期效果的优点；但倒槽会造成大量的资源浪费及经济损失，且增加废弃液排污处理的负担。该方法一般适于新老槽液体系差别悬殊的情况，如将阳极电泳更新为阴极电泳。

（2）逐步更新　一般在相似电泳体系时，可采用逐步添加新型电泳液并最终取代旧电泳液，此方法的优点是原有的旧电泳液可全部得到利用，经济效益明显，但它更新旧电泳液需要较长的一段时间，一般为半年左右（时间长短取决于生产纲领），在此期间电泳参数要不断变更，最终获得新型电泳体系的全部性能。

### 6.4.12　电泳涂装常见缺陷及防治方法有哪些?

电泳涂装常见缺陷主要有涂膜粗糙、针孔、花斑、阴阳面、缩孔、失光、水痕等，一般不是单一的因素造成这些缺陷，表 6-6 为电泳涂装常见缺陷及其防治方法。

**表 6-6　电泳涂装常见缺陷及其防治方法**

| 涂膜病态 | 产生原因 | 防治方法 |
| --- | --- | --- |
| 涂膜粗糙 | 1. 颜基比过高<br>2. 槽液杂质离子过多，电导率过高<br>3. 槽液中助溶剂含量偏低<br>4. 槽液中混有机械杂质 | 1. 补充低颜基比涂料<br>2. 加强超滤、废弃超滤液<br>3. 添加助溶剂<br>4. 过滤去除杂质 |
| 针孔 | 1. 电泳电压过高，电解反应过剧，产生气泡过多<br>2. 助溶剂含量偏低<br>3. 槽液杂质离子过多<br>4. 槽液温度偏低 | 1. 适当降低电压<br>2. 添加助溶剂<br>3. 超滤除去杂质离子<br>4. 控制槽液温度 |
| 花斑 | 1. 工件表面预处理不好，磷化膜不均匀<br>2. 槽液附着表面，未及时洗净<br>3. 槽液杂质离子过高 | 1. 提高表面预处理质量<br>2. 电泳后工件刚出槽尽快进行水洗<br>3. 超滤除去杂质离子 |
| 阴阳面 | 1. 槽液颜基比不合适，搅拌不均匀<br>2. 工件在电泳槽中的位置不当<br>3. 工件形状复杂，局部产生电场屏蔽 | 1. 调整颜基比，控制搅拌速度<br>2. 工件应保持在电场中心线与槽两边电极平行且距离相等<br>3. 根据工件形状，适当布置辅助电极 |
| 缩孔 | 1. 颜基比太低，颜料过少<br>2. 表面预处理脱脂不彻底<br>3. 外来油污污染电泳涂膜 | 1. 补充高颜基比涂料<br>2. 严格预处理工艺，尤其注意彻底脱脂<br>3. 检查输送机构，挂具防止油滴污染涂膜 |

（续）

| 涂膜病态 | 产生原因 | 防治方法 |
| --- | --- | --- |
| 失光 | 1. 槽液pH值失调<br>2. 槽液中杂质离子过多<br>3. 槽液温度太低、涂膜过薄<br>4. 磷化膜粗糙 | 1. 调整pH值<br>2. 超滤除去杂质离子<br>3. 适当提高槽液温度，增加沉积量<br>4. 提高磷化质量，尽量采用细晶薄膜磷化工艺 |
| 水痕 | 1. 预处理水洗不彻底<br>2. 电泳沉积后，预烘干时间太短<br>3. 涂膜冲洗后水滴从挂具上滴落到涂膜上<br>4. 涂膜表面张力过大 | 1. 严格控制水洗质量<br>2. 加强预烘干过程<br>3. 用导流板防止滴水，用压缩空气或鼓风吹干水滴<br>4. 改善电泳漆涂膜表面张力 |
| 桔皮 | 1. 槽液颜基比过小<br>2. 助溶剂含量过低<br>3. 电泳电压过高，涂膜过厚<br>4. 槽液中低相对分子质量树脂增多<br>5. 预处理水洗不净、磷化膜粗糙 | 1. 补充颜基比较高的电泳漆<br>2. 适当补充助溶剂<br>3. 适当降低电泳电压<br>4. 严格控制补充电泳漆质量<br>5. 提高表面预处理质量 |
| 涂膜过薄 | 1. 助溶剂含量偏低<br>2. 颜基比偏高<br>3. pH值不当<br>4. 槽液温度偏低 | 1. 补充助溶剂<br>2. 补加低颜基比涂料<br>3. 调整pH值<br>4. 适当提高槽液温度 |
| 涂膜过厚 | 1. 槽液中助溶剂含量偏高<br>2. 颜基比偏低<br>3. pH值不当<br>4. 槽液温度偏高 | 1. 废弃超滤液<br>2. 补加高颜基比涂料<br>3. 调整pH值<br>4. 冷却降低槽液温度 |
| 工件内表面涂膜过薄（泳透力下降） | 1. 颜基比偏低<br>2. 槽液中助溶剂含量偏高<br>3. 槽液杂质离子含量过多<br>4. 电泳电压偏低<br>5. 槽液搅拌不良 | 1. 补充高颜基比涂料<br>2. 废弃超滤液<br>3. 废弃超滤液<br>4. 适当提高电压<br>5. 加强搅拌，疏通管道和喷嘴 |

## 6.5 粉末静电涂装设备

### 6.5.1 高压静电发生器有哪两类?

国内生产的高压静电发生器有电子管和晶体管两种，均有足够的输出功率和保护装置，当产生打火放电时能自动切断高压，保证人身安全。

电子管高压静电发生器工作特性：输出电压40～120kV连续可调，输出电流小于300μA，最大输出功率100W。晶体管高压静电发生器工作特性：输出电压0～180kV连

续可调，输出电流 100μA，额定输出功率 180W。

目前，国内使用较多的是电子管的。电子管性能可靠，能耐超载，输出电压稳定。晶体管的体积较小，耗电少。也有两者结合的静电发生器，它集中了两者的优点。

### 6.5.2 供粉器有哪些类型？

供粉器既要出粉稳定，保证涂膜厚度均匀，出粉量又要可以调节，以适应不同涂膜厚度的要求。目前供粉器有以下几种：

1. 压力密闭式

压力密闭式供粉器内设有文丘里管装置，借文丘里管和容器内压形成的负压吸入，使夹带粉末压缩空气均匀稳定地送入喷枪。其结构如图 6-38 所示。

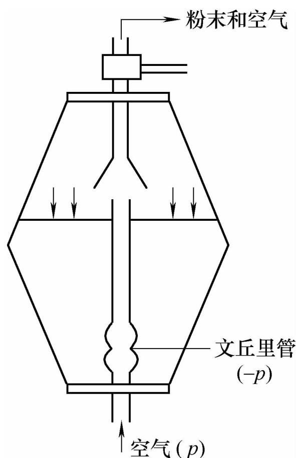



图 6-38 压力密闭式供粉器结构

2. 螺旋式

螺旋式供粉器结构如图 6-39 所示。螺旋式供粉器在其中心垂直装有小型螺旋输送器，螺旋输送器的压力决定粉末的喷出量，其供粉量可调节，且稳定性高，适用于要求涂膜厚度均一的场合。

3. 抽吸式（文丘里式）

抽吸式供粉器结构如图 6-40 所示，供粉装置是开式的，可以连续加料，气流经多孔板将粉末浮动。通过压缩空气使文丘里管形成负压吸入并将粉末输送至喷枪。由于受文丘里管喷出空气速度的制约，导致粉末的输送距离较短（不超过 10m），适用于连续、短距离的输送。

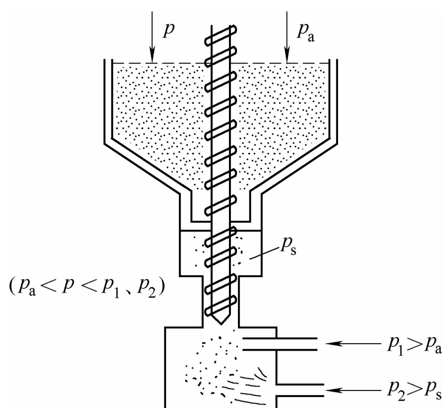



图 6-39 螺旋式供粉器结构

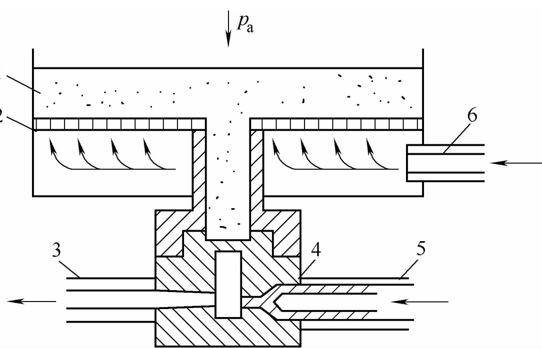



图 6-40 抽吸式供粉器结构

1—浮动粉末涂料 2—多孔板 3—粉末供应管 4—喷射管 5—空气入口 6—流动空气

### 6.5.3 静电喷粉枪分哪些类型？

静电喷粉枪分手提式和固定式两种。固定式一般用于生产线。近年来还研制出了结构独特新颖、形式多样的静电喷粉枪，如转盘式粉末自动喷粉系统、栅式电极喷粉枪及

钢管内壁专用喷枪。此外，不需高压静电发生器的摩擦静电喷枪也已经成功应用于实际生产中。

手提式静电喷粉枪结构如图6-41所示。

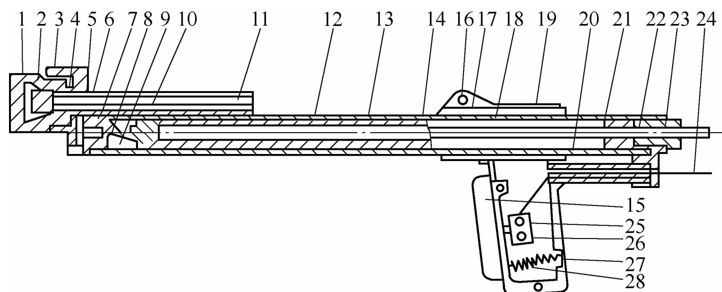



图6-41　手提式静电喷粉枪结构

1—喷杯　2—塞头　3—喷头　4—套筒　5—导电螺钉　6—喷嘴　7—导电柱　8—顶头　9、28—弹簧　10—电阻套盖　11—送粉管　12—高压合成电阻　13—电阻套管　14—锁紧螺钉　15—扳机　16、22、26、27—螺钉　17—手柄　18—锁紧套　19—枪身　20—低压导线套管　21—枪尾塞　23—高压电缆　24—低压导电线　25—微动开关

### 6.5.4　粉末静电喷枪的带电结构是什么?

粉末静电喷枪的带电结构如图6-42所示。

粉末静电喷枪分内带电式和外带电式两种形式。

（1）内带电枪　内带电枪是使粉末通过枪身内的极针与环状电极之间的电晕空间带电。喷枪与工件之间的外电场强度一般只有0.3～1.3kV/cm，空间的电场强度大约6～8kV/cm。

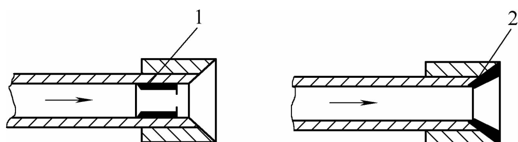



图6-42　粉末静电喷枪的带电结构

1—内带电式　2—外带电式

（2）外带电枪　外带电枪是通过枪口与工件之间的电晕空间使粉末带上电荷。这种喷枪的外电场强度较大，一般可达1～3.5kV/cm。

### 6.5.5　静电喷枪的扩散机构有哪些类型?

粉末扩散机构大致分为以下几种：冲撞分散式、空气分散式、旋转分散式、搅拌分散式和二次进风式等，其结构如图6-43所示。

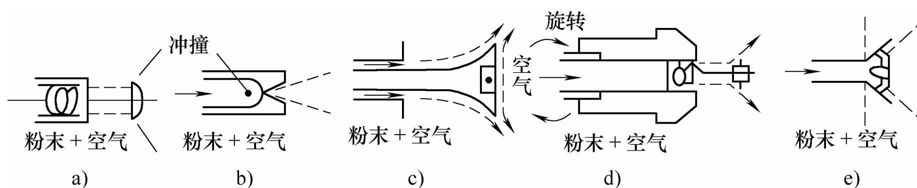



图6-43　静电喷枪的几种粉末扩散结构

a)、b）冲撞分散式　c）空气分散式　d）旋转分散式　e）搅拌分散式

（1）冲撞分散式粉末扩散机构　通过阻挡粉末来改变喷涂方向和喷射速度。调节导流体的形状和位置来改变扩散角的大小。这种扩散结构简单、操作方便。

（2）空气分散式粉末扩散机构　利用空气把粉末送到外枪身和内枪身之间的部分，然后向前喷。分散粉末涂料用的空气通过内枪身的空间部分从内筒的前端穴部喷出。由于穴部呈喇叭状和气流的附壁效应，气流在前端改变方向，从内侧给粉流以大约 90°相撞，撞后的粉末和分散气流都偏向各自的矢量方向。根据这一原理，把调整内枪身的分散空气力作为调整全部粉末涂料及空气混合流的力，那么就可以自由调节喷枪的喷涂直径了。这种扩散机构可以实现远距离控制喷涂直径，且可以在操作时调节，枪头也不易积粉。

（3）搅拌分散式粉末扩散机构（即离心分散机构）　靠离心力把粉末分散输送出喷枪。这种形式的喷枪喷粉量和喷涂面积大，但结构复杂，操作不便，并且改变图形要更换喷杯。

（4）旋转分散式粉末扩散机构　当粉末气流向前推进时，靠旋转空气将粉末气流扩散开来，沿着枪前导流杆侧面形成一喷射角度飞向工件表面，其扩散效果较好。

### 6.5.6　如何选定喷粉柜材料?

喷粉柜可用的材料有金属板和塑料板，根据经济性、耐久性、易于施工等方面加以选定，其优缺点见表 6-7。

**表 6-7　用金属板和塑料板制作喷粉柜的优缺点**

| 优缺点 | 种　类 | |
|---|---|---|
| | 金　属　板 | 塑　料　板 |
| 优点 | 加工容易、价格便宜、牢固，易运输和清理 | 粉末易附着在内壁，易清扫，可小型化 |
| 缺点 | 粉末易吸附壁上、容积大、空气量大、喷涂效率下降，产生火花放电的机会多 | 制造较难，材料费用高（为金属板的 5 ~ 10 倍），易损坏 |

金属板和塑料板组合的喷粉柜适用于自动喷涂生产线。若采用不锈钢制作喷房，顶盖用聚丙烯板，则易清扫、换色快。

喷粉柜的大小取决于被涂物的大小、喷枪的数量和传送速度。设计喷粉柜时要考虑以下数据：

1）被涂物的最大长度、宽度和高度。

2）传送速度。

3）自动或手工喷涂。

4）单位时间涂覆面积。

喷粉柜设计应考虑三要素：风量应不能吹掉涂覆在工件上的粉末；操作口粉末不外溢；粉末浓度保持在爆炸极限以下。

### 6.5.7　粉末回收装置有哪些类型?

（1）脉冲滤芯式回收　该回收装置在 20 世纪 80 年代比较流行，是用羊皮纸做成滤芯代替了布袋，并带有脉冲反冲。

羊皮纸是用木材纤维、淀粉、霉剂、棉絮和聚酰胺合成为湿纸板，经几次折叠折成

扇褶，外层再用塑料定型剂喷上一层，然后在烤炉中烤干定型；在烘烤定型时，塑料层和纸浆中的霉剂经加温形成气孔，基本在 300 目以上，所以小于 300 目的粉末就被过滤在滤芯的外层。

脉冲反冲的过程是把净化的压缩空气灌注在贮气罐中，压力范围为 0.5 ~ 0.7MPa，使每个滤芯被贮气罐中的高压空气反冲，同时清除附在滤芯外表面的积粉。脉冲反冲具有防止粉末堵塞筛孔，以免影响粉末回收的作用。

（2）布袋回收器　布袋回收器是回收粉末的主要装置。含粉末的空气经风机排风由过滤袋筛滤聚集下落，同时在脉冲反吹装置的作用下，将集厚的粉层除净，保证过滤袋在长期工作中不被粉末阻塞，从而使滤粉正常工作。

## 6.6　高压无气喷涂设备

### 6.6.1　高压无气喷涂设备分哪几类?

高压无气喷涂设备一般有大型、轻便型和小型三种。大型设备可用于船壳、船底及大面积建筑外壁等。轻便型设备适用于汽车、机车及重型机械。小型设备可用于木器等，优于刷涂。

按涂料流量分类：超大型可在 20L/min 以上；大型喷涂机为 10L/min 以上；中型喷涂机为 2 ~ 10L/min；小型喷涂机为 1 ~ 2L/min。

按涂料输出压力分类：中压喷涂机（压力大于 10MPa），用于空气喷涂辅助无气喷涂；高压无气喷涂机（压力为 10 ~ 25MPa），用于常规涂料的无气喷涂；超高压无气喷涂机（压力为 25 ~ 40MPa），用于高粘度涂料喷涂。各类高压喷涂机的工作参数见表 6-8。

**表 6-8　各类高压喷涂机的工作参数**

| 高压喷涂机类型 | 涂料出口压力/MPa | 吐口量①/（L/min） | 质量/kg | 功率/kW |
|---|---|---|---|---|
| 普通高压喷涂机 | 4.9 ~ 32.3 | 1 ~ 8 | 14 ~ 155 | 0.7 ~ 5.5 |
| 电动式高压喷涂机 | 16.6 ~ 24.5 | 1.8 ~ 2.5 | 20 ~ 125 | 0.4 ~ 1.6 |
| 发电机式高压喷涂机 | 14.7 ~ 19.6 | 1.5 ~ 4.2 | 40 ~ 130 | 2.1 ~ 3.7 |

①　表示一定时间内从喷枪口喷出的涂料量。

### 6.6.2　无气喷涂设备由哪些部分组成?

无气喷涂设备的组成如图 6-44 所示，由动力源、高压泵、涂料容器、蓄压过滤器、涂料输送管道、喷枪等组成。

### 6.6.3　喷枪的组成部分有哪些?

高压无气喷枪主要由枪体、喷头和调节机构三部分组成。由于高压无气喷涂工作时涂料的压力较大，因此枪体要承受较高的压力，必须有较高的耐压性和较好的密封性。喷头是决定涂料雾化及喷雾图形的关键部件，涂料的喷雾图形、喷幅宽度和喷出量是由喷嘴的孔径大小、几何形状和加工精度决定的。涂料喷嘴可分为标准型喷嘴、圆形喷嘴、自清型喷嘴和可调喷嘴。常见喷嘴结构如图 6-45 ~ 图 6-48 所示。

调节机构可调节涂料的喷出量和喷涂扇面的大小。与空气喷涂不同的是高压无气喷枪没有压缩空气通道。

### 6.6.4　动力源的种类有哪些？

涂料加压用的高压泵动力源有压缩空气、油压和电源三种。用压缩空气作动力操作比较简便安全，所以一般多采用压缩空气作动力源。以油压作动力的油压高压泵与以电源作动力的电动高压泵比气动高压泵开发晚。压缩空气动力源的装置包括空气压缩机（或贮气罐）、压缩空气输送管、油水分离器和阀门等；油压动力源装置包括液压泵、过滤器和油槽等；电动装置包括电源线路及其有关的控制装置。

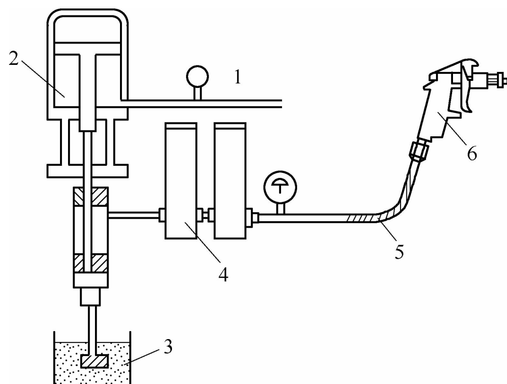



图6-44　无气喷涂设备的组成

1—动力源　2—高压泵　3—涂料容器　4—蓄压过滤器　5—涂料输送管道　6—喷枪

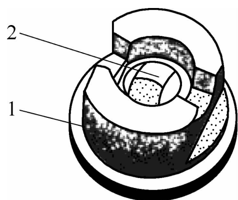



图6-45　标准型喷嘴

1—喷嘴　2—橄榄形开口

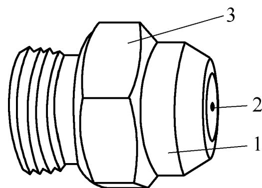



图6-46　圆形喷嘴

1—喷嘴　2—圆形开口　3—紧固螺母

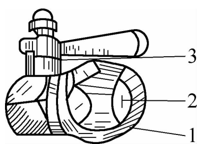



图6-47　自清型喷嘴

1—喷嘴　2—喷嘴开口　3—换向反冲阀

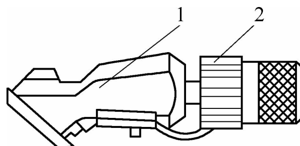



图6-48　可调喷嘴

1—喷嘴　2—调节阀

### 6.6.5　高压泵的种类有哪些？

按照动力源区分，无气喷涂用的高压泵可分为气动、油压和电动三种。

（1）气动高压泵　以压缩空气作为动力源，是使用最广泛的泵。它具有安全可靠的特点，在使用过程中无电火花产生，特别是在有机溶剂存在的场合下，无任何火灾危险。压缩空气的压力一般为0.4～0.7MPa，涂料经泵压缩后压力是压缩空气压力的几十倍。柱塞的面积与加压活塞面积的比值决定压力比（涂料的压力与压缩空气压力的比值）。在实际操作过程中，由于工作压力比受涂料喷出量的影响，因此随喷出量的增加而减小，可通过减压阀调节压缩空气的压力来调整涂料的压力。

（2）油压高压泵　以油压作动力，通常使用的油压为5～7MPa。借助减压阀控制油压调整涂料的喷出压力，涂料准确的喷出压力应根据高压泵的特性曲线确定。图6-49为美国格雷科公司13000油压高压泵的特性曲线。

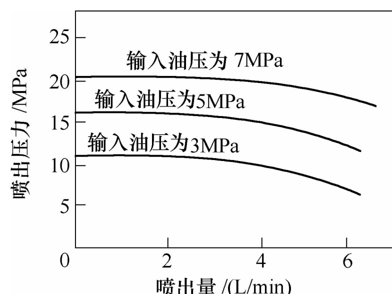



图6-49　油压高压泵特性曲线

（3）电动高压泵　以交流电作为动力源，分自动停止型和溢流型两种。自动停止型是指当喷涂工作停止时，泵也自动停止；溢流型是指喷涂工作停止时，泵仍然运行，泵出的涂料通过溢流阀在泵与涂料桶之间循环。目前这种泵的喷出压力最高为19.6MPa，喷出量约为1.3L/min，电动高压泵具有移动方便、不需要特殊的动力源、只要有电源即可使用的优点。

### 6.6.6　蓄压过滤器的构造有哪些？

蓄压过滤器的构造如图6-50所示，由蓄压器筒体、过滤网、过滤网架、放泄阀、出漆阀等组成。从高压泵输入的高压涂料由底部的进漆口进入筒体内腔，经过滤网过滤后由出漆阀排出，再经高压软管输送至喷枪进行喷涂。

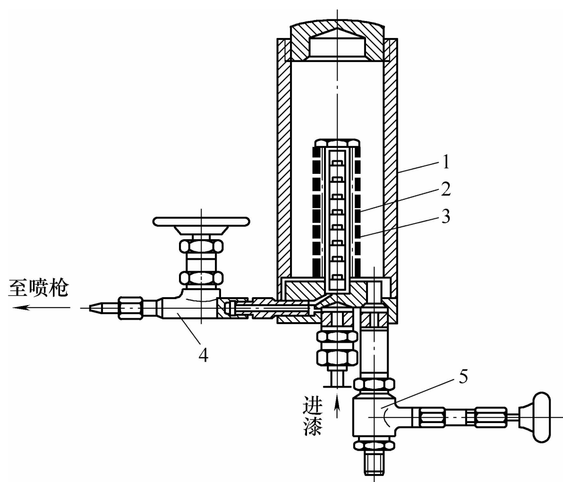



图6-50　蓄压过滤器构造

1—筒体　2—网架　3—过滤网　4—出漆阀　5—放泄阀

### 6.6.7　输漆管的构造有哪些？

输漆管也是高压无气喷涂设备的主要部件之一，不仅要耐溶剂，而且要耐高压（24～52MPa），同时还要有消除静电的作用。输漆管的管壁构造分为三层：内层为尼龙管；中间层为化学纤维或不锈钢编织，为了便于喷涂作业时保持接地状态而同时编入接地导线；外层以尼龙、聚氨酯或聚乙烯包覆。软管内径一般有4.5mm和6.9mm两种，长度为5～30m。

### 6.6.8　高压无气喷涂机的维护要点有哪些？

1）喷枪喷涂后应立即用所喷涂涂料的配套溶剂清洗干净，特别是双组分涂料，由于涂料采用固化剂固化，若不立即清洗，涂料会在枪内固化，造成喷枪堵塞，严重时会造成喷枪报废。

2）清洗或空载运转时应采用低压，压力过高会降低零、部件及密封件的使用寿命。

3）喷涂时，压缩空气的压力应低于设备容许的最高压力，在达到喷涂效果的情况下尽量选用低压，以提高喷枪的使用寿命。

4）涂料调节螺栓、枪体内部的弹簧应定期涂油，以保证活动灵活并防止生锈。

5）使用时应轻拿轻放，避免碰伤或摔伤。

6）不可将枪体及配件长期浸泡在溶剂中。

7）喷涂设备及涂料输送管道必须保持良好的接地，涂料高速喷出时产生的静电必须通过良好的接地来消除，否则易产生火灾危险。

8）清洗时，不要用喷枪喷射溶剂，过量的挥发溶剂易引起危险事故，同时也不利于操作者身体健康。

### 6.6.9　高压无气喷涂机的选择原则是什么?

（1）根据所具备的动力源选择　当工作现场有压缩空气存在时，一般选用气动高压无气喷涂机；在没有压缩空气存在的情况下，可根据现场的动力源确定。

（2）根据喷涂工件的形状及批量选择　喷涂工件的形状比较复杂或批量较小时，选择小型喷嘴；喷涂工件的形状比较简单或批量较大时，选择较大型喷嘴。

（3）根据喷涂涂料的物性选择　一般情况下，涂料的粘度都不是很高，各种高压无气喷涂机基本都可以使用。

（4）根据对表面质量的要求选择　一般在对表面质量要求较低的情况下，为提高膜厚及喷涂效率，可选用压力较大的喷涂机；对表面质量的要求较高时，一般选用压力较小的喷涂机。

## 6.7　浸涂设备

### 6.7.1　浸涂设备的组成有哪些?

浸涂设备通常包括浸涂槽、搅拌装置、去余漆装置、涂料加热冷却装置和防火装置，此外还需要配置输送悬挂装置和贮漆槽，图 6-51 所示为通过式浸涂设备，图 6-52 所示为间歇式浸涂设备。

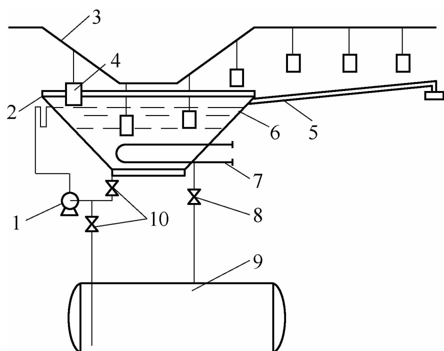



图 6-51　通过式浸涂设备

1—循环搅拌泵　2—槽边通风装置　3—悬挂输送机　4—被涂物　5—滴漆盘　6—浸涂槽　7—加热装置　8—放漆阀　9—贮漆阀　10—阀门

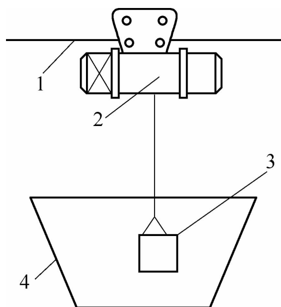



图 6-52　间歇式浸涂设备

1—传送装置　2—电转器　3—被涂物　4—浸涂槽

### 6.7.2　浸涂槽槽体的构造是什么?

槽底通常采用平底，但用卧式旋片搅拌时，槽底应为圆弧形，如图 6-53 所示。在槽体内下部设置的栅格板可防止被涂物掉落损坏装置。槽体需设置放漆口和事故排放口。事故排放口用于大型浸涂槽，其直径需满足5min 内可将槽内涂料全部排出的要求。采用卧式旋片搅拌的槽体应设置传动轴引入口，采用循环泵搅拌的槽体应设置循环泵管道出入口。槽体应设置底座，便于安装时找平和安放各种排放管口。

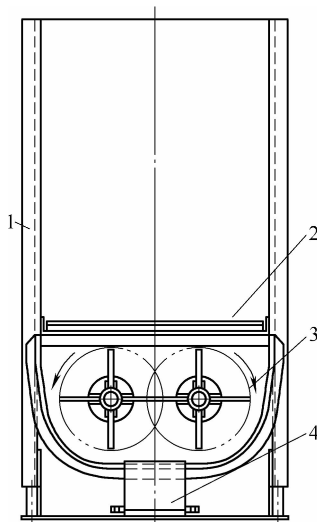



图 6-53　圆弧形槽底

1—槽体　2—栅格板

3—卧式旋片搅拌装置

4—放漆口

### 6.7.3　搅拌装置有哪些?

搅拌的目的是防止颜料沉淀和使槽中涂料均匀。在大型浸漆槽上，一般采用泵进行循环搅拌，也有采用旋桨式机械搅拌装置。容量小的浸漆槽一般不设置搅拌装置，仅用木桨进行手工搅拌。

大型槽的循环搅拌系统一般设有过滤器，过滤器的滤芯多为多层金属网，可以定时更换清洗。为防止被涂物表面产生条纹和使漆液湿润表面，大型浸漆槽有时设有产生波浪的装置，它被安设在浸槽的入口处，通过往复运动使漆面产生一定的波浪，冲击被涂物表面。

### 6.7.4　去余漆装置有哪些类型?

浸涂设备中有自然滴落去余漆和静电去余漆两种装置。

1. 自然去余漆盘

浸漆后常用的是自然滴落去余漆装置，该装置结构简单，只需在浸涂槽的被涂物出口处设置一个滴漆盘。滴漆盘应向浸涂槽倾斜，其倾斜角度一般与水平面呈 10°～15°，使从被涂物滴落的余漆流回浸涂槽。

滴漆盘的宽度应稍大于被涂物的宽度，保证即使被涂物悬挂在输送链上摇晃，余漆也会滴落在滴漆盘内。滴漆盘的长度应满足浸漆后被涂物表面上的余漆从连续滴落到不连续滴落的输送距离要求，通常可按浸涂槽长度的 1.2～2.2 倍选取。大型滴漆盘的四周应布置蒸气灭火装置，确保作业安全。

2. 静电去余漆装置

静电去余漆装置由高压静电发生器、电缆和平板状（或网状）电极组成。常用的静电场电压为 60～85kV，电流为 200μA 左右。根据实际使用经验，电极与被涂物之间的距离应为 200～300mm，被涂物通过电极的时间约为 2min，根据被涂物通过电极所需时间确定电极的长度。

### 6.7.5　常用的加热装置有哪些?

冬季作业环境温度比较低或涂料常温粘度过高不宜浸涂的情况下，必须对浸涂槽内

的涂料加热，确保适宜的浸涂粘度。

浸涂设备的加热装置常用的有用热水或蒸汽作热源的蛇形管式和排管式热交换器。蛇形管式热交换器如图 6-54 所示，所用管子直径不得超过 70mm，管子弯曲半径一般应为管子外径的 3～4 倍，这种热交换器不宜过长，当蒸汽压力为 0.2～0.4MPa 时，管长与管径之比不得超过 225～275，如要求超过了允许的长度，可设计成若干组并联蛇形管。排管式热交换器如图 6-55 所示，它由多根水平直管和垂直直管焊接而成，这种热交换器不受结构限制，可设多个水平直管，增加换热面积。热交换器最好安装在浸涂槽的侧壁，与槽壁的距离为 80～150mm。

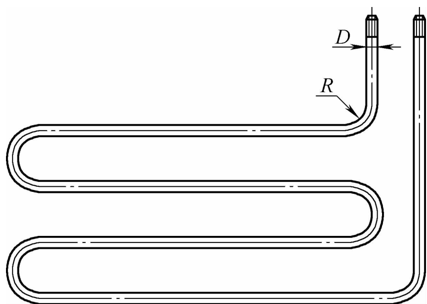



图 6-54　蛇形管式热交换器

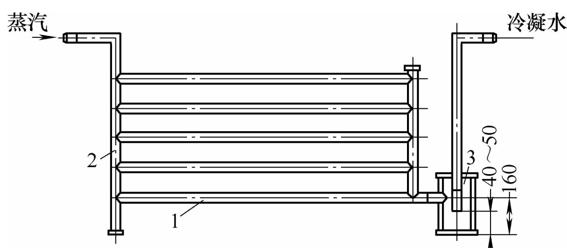



图 6-55　排管式热交换器
1—水平直管　2—垂直直管　3—水封结构

浸涂设备加热装置也可采用电加热管，其特点是结构简单，热效率高。

无论是电加热器，还是热水、蒸汽热交换器，都必须配置相应的、可靠的温度控制装置。

### 6.7.6　冷却装置有哪些形式?

夏天作业环境温度比较高的情况下，必须对浸涂槽内的涂料进行冷却降温，确保槽内涂料温度控制在规定的范围内。

浸涂设备的冷却装置有两种形式，一种形式是使用热交换器，通冷水降温；另一种形式是在浸涂槽壁外围设置套管，通冷水降温，冷水可用井水或冷却塔的循环水。

### 6.7.7　什么是通风装置?

为防止从浸漆槽和涂过漆的被涂物表面上挥发出的溶剂蒸气扩散到其他工位，在浸漆工位处应设置通风装置。大型的通风装置是将浸漆工位（漆槽和滴漆区段）间壁成排风室，仅保留被涂物的进出口，以集中排风。小型的只需采用排风罩局部排风。

排风量与被涂物出入口和挥发溶剂量的大小、风速有关，排风室敞口处（即被涂物出入口）的风速一般选用 0.3～0.5m/s，在这样的风速下可完全消除溶剂蒸气的扩散。由于溶剂蒸气的最大扩散速度不超过 0.1m/s，因此排风量可按下式计算

$$Q = 3600FW$$

式中　$F$——排风室敞口处的截面积（$m^2$）；

$W$——敞口处的风速（m/s）。

### 6.7.8 防火装置包括哪些?

防火装置包括紧急排放装置和灭火装置。

紧急排放装置包括涂料紧急排放口与管路、贮漆罐及其配套的自动开启阀。应将贮漆罐设置在室外地下，当发生事故时，自动开启阀自动开通，将浸涂槽内的涂料排入贮漆罐。

灭火装置可采用二氧化碳、四氯化碳或蒸气等灭火器材，并安装在浸涂槽的四周和封闭罩的顶部。当发生事故灭火器材料受热时，自动阀自动开启，喷射灭火剂。

# 第 7 章　涂膜的干燥

## 7.1　涂膜的成膜机理及分类

### 7.1.1　什么是涂料的成膜?

涂料的成膜包括两个过程：将涂料通过适当的工艺涂覆在被涂物表面和涂料形成连续的固态涂膜。对于液态涂料来说，就是湿膜（涂料涂覆在被涂物表面后形成的一种液态薄层）按照一定的机理，通过物理或者化学的方法，变成连续的固态的具有特定的物理结构和化学组织的干膜，即是得到了涂膜。这个由湿膜到干膜的过程称为干燥或固化，这一过程是涂料成膜过程的核心。

### 7.1.2　涂覆在被涂物表面的未固化涂膜有哪些形式?

目前的涂料主要有液体和粉末状两种，按照其成膜物质的性质，可将其分为两大类：转化型涂料（反应型涂料）和非转化型涂料（挥发型涂料）。依据涂料的形态和其成膜物质的性质又可将涂布在被涂物表面的未固化的涂膜分为四种：①液态的转化型涂料的涂膜；②液态的非转化型涂料的涂膜；③熔融态的粉末涂料的涂膜；④粉末状态的粉末涂料的涂膜。

### 7.1.3　涂膜的干燥机理是什么?

根据涂料基料的性质，可将涂膜的干燥分为物理干燥和化学干燥。根据干燥成膜过程不同，涂料可分为热固性和热塑性涂料。其中，热固性涂料的干燥机理为：除涂料熔融和溶剂挥发等物理作用以外，以缩合、氧化、聚合等化学作用固化为主，所成涂膜不再被溶剂溶解，受热也不熔化；热塑性涂料的干燥机理为：热塑性粉末涂料依靠熔融成膜，液态涂料依靠溶剂挥发成膜，所成涂膜均能被溶剂再溶解或加热再熔化，成膜过程完全属于物理干燥。

### 7.1.4　物理性干燥的涂料有何特点?

人们经常将物理性干燥的溶剂性涂料称为挥发型涂料，或自干性涂料。它可在常温下进行，也可以在高温下进行。施工中影响自干性涂料成膜的主要因素是溶剂挥发的速度，而溶剂挥发的速度主要受制于环境的温度、湿度、通风概况与溶剂本身的性质和组成。

挥发性或自干性涂料成膜时，成膜物质本身不起化学变化，即成膜物质本身未变化，只是物理状态的改变。因此涂膜本身还可以再次溶解于溶剂中。如果是物理性干燥的粉末涂料再次受热时，粉末涂料还可以恢复成熔融状态。因此，遵从物理干燥机理的粉末涂料一般为热塑性的粉末涂料，如聚乙烯粉末、聚酰胺粉末等。

### 7.1.5　化学性干燥的涂料有何特点?

化学性成膜的涂料也常常称为交联成膜型涂料，交联成膜的液态溶剂性涂料在干燥

成膜过程中，除包含溶剂挥发过程外，涂料中的主要成膜物质应在成膜过程中发生缩合或聚合等化学反应过程。而粉末性涂料的固化过程，除粉末的熔融物理过程外，粉末涂料中含有的主要成膜物质应发生催化聚合或各类游离基聚合或缩合的化学过程。固化成膜后，涂膜不能通过溶剂的作用被重新溶解，也不可能使已固化的涂膜再一次受热时恢复成熔融状态。因此，这类涂料（包括溶剂性涂料和粉末状涂料）统称为热固性涂料，例如环氧粉末涂料等。

### 7.1.6　挥发型涂料的成膜机理是什么?

挥发型涂料湿膜的干燥方式通常称为物理性干燥，也称为挥发干燥。其成膜机理为：溶剂中的大分子物质被涂覆在被涂物表面，由于溶剂的挥发而从液态转变为固体，得到具有一定结构的涂膜。这类涂料成膜时，成膜物质不发生化学变化，而只是利用物理的方法实现成膜，其中的次要成膜物质虽有化学反应，但对成膜作用不大。这类涂料都可以实现自干，并且表干的速度很快，干燥速度主要取决于溶剂的挥发速度。

### 7.1.7　挥发型涂料的成膜过程是什么?

施工后，挥发型涂料依靠溶剂挥发的成膜过程包括三个阶段：湿阶段、过渡阶段和干阶段，如见图 7-1 所示。在湿阶段，溶剂在自由表面大量挥发，随着溶剂的挥发涂层粘度不断增加，混合蒸气压等于各个溶剂蒸气压之和，并且基本保持恒定；在过渡阶段，沿膜表面向下出现不断增长的凝胶层，溶剂挥发受到表面凝胶层的限制，溶剂蒸气压显著下降；在干阶段，溶剂的挥发扩散在厚度方向受到涂膜表面的限制，溶剂的释放速度很慢，这一阶段可持续很长时间。

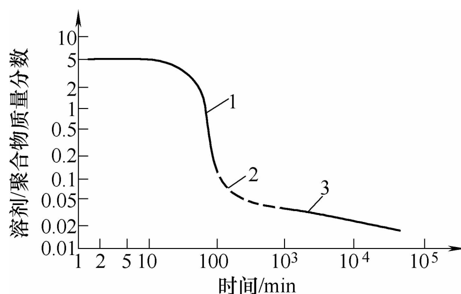



图 7-1　涂膜溶剂保留与时间关系曲线

1—湿阶段　2—过渡阶段　3—干阶段

### 7.1.8　环境中对挥发性涂料干燥的影响因素有哪些?

环境中对涂料干燥的影响因素包括空气流通和温度。在湿阶段，提高空气流速可以促进涂膜的干燥，这是因为在这一阶段溶剂大量迅速挥发，湿膜表面溶剂蒸气达到饱和，提高空气流速可以增强空气流通。提高温度可以增加涂膜中溶剂扩散性，并且有利于实干和溶剂保留率的降低，但是温度太高会造成涂膜变干太快，流平性很差。

### 7.1.9　强氧化性涂料的干燥机理是什么?

强氧化性涂料的干燥不仅是由于溶剂的挥发，同时还借助于油脂的氧化-聚合作用，生成坚韧耐久的涂膜。这种干燥是物理变化和化学变化两个过程同时发生的。例如油性调合漆、油性磁漆等。

### 7.1.10　烘烤聚合性漆的干燥机理是什么?

烘烤聚合型漆必须经过一个较高的温度烘烤，才能使成膜物分子的官能团发生交联固化，如氨基烘漆、丙烯酸烘漆等。环氧树脂漆中的不饱和基在高温和催化剂的作用下由低聚合体形成多聚合体结构，这种干燥也是漆膜化学变化的结果。

### 7. 1. 11　转化型涂料的成膜原理是什么?

（1）氧化聚合形式　指依靠空气中的氧气的作用聚合形成固体干膜。如酚醛树脂涂料、醇酸树脂涂料、环氧脂涂料等，这些油脂涂料和含有干性油的天然树脂涂料（不包括大漆），通常都是在进行溶剂挥发的同时，依靠氧化聚合来形成干膜的，一般在常温下进行。

（2）引发剂引发聚合形式　指依靠湿膜中的引发剂引发成膜物质发生聚合形成固体干膜。涂料中是不含有挥发性有机溶剂的。不饱和聚酯涂料是典型的以这种形式成膜的涂料品种。一般采用这种成膜形式时，必须在阻隔空气条件下进行，这是因为氧气会阻碍聚合。

（3）能量引发聚合形式　指依靠外加能量来引发成膜物质聚合形成固体干膜。如利用紫外线或电子束来实现成膜固化。这种方式需要一定的装置设备。

（4）缩聚反应形式　指依靠涂料中的成膜物质发生缩聚反应形成大分子从而形成固体干膜，同时生成水或其他小分子物质逸出。氨基醇酸树脂涂料、氨基聚酯树脂涂料和氨基环氧涂料等都是以这种形式成膜固化的。这种方式需要一定的条件，如要进行加热或添加催化剂等。

（5）氢转移聚合反应形式　指依靠含两种或两种以上可以相互反应的官能团的成膜物质，发生反应形成大分子物质从而形成干膜，成膜过程不产生小分子物质。含可挥发溶剂或分散介质的热固性丙烯酸涂料、环氧涂料、聚氨酯涂料和有机硅涂料等都是采用这种方式成膜的。采用这种方式需要一定的条件，如湿度、催化剂等。

（6）外加交联剂固化形式　指依靠外界因素形成固体干膜。例如大漆漆膜的固化需要在空气中的水分来实现固化。这种形式是一种特殊的成膜方式。

### 7. 1. 12　影响氧化聚合型涂料干燥速度的因素有哪些?

1）组成涂料的干性油类型及其油度。在干性油的分子结构中，含有共轭双键的比不含共轭双键的干得快。

2）催干剂的类型。不同的催干剂在成膜过程中的作用不同。例如，钴催化油脂是吸氧过程，催化过氧化物分解成游离基过程，而铅只能起到催化吸氧的作用。

3）温度与相对湿度。氧化聚合型涂料和挥发型涂料一样也可以实现自干，但干燥速度要相对慢一些。温度高和湿度小有利于膜干燥，除此外紫外线对此类涂料的自干也有促进作用。此类涂料也可进行烘干，但烘干温度一般较低，不超过 100℃，过高的温度会容易导致涂膜起皱。

### 7. 1. 13　乳胶成膜过程是什么?

乳胶成膜是乳胶涂料特有的一种成膜方式，是指由分散的乳胶粒和颜料颗粒之间聚结成涂膜的过程，其机理比较复杂，目前还没有统一的解释。乳胶成膜过程如图 7-2 所示，分为初期、中期和后期三个阶段。

（1）初期　乳胶漆涂覆完成后，随着水分的挥发，原先处于分散态的乳胶粒和颜料颗粒逐渐靠拢，但各自仍然可以自由运动。这一阶段水分挥发的速度恒定。

（2）中期　随着水分的继续挥发，乳胶粒和颜料颗粒表面的吸附层遭到破坏，两者变成不可逆的相互接触，达到密堆积。这一阶段水分的挥发速度较慢仅为初期的 5%

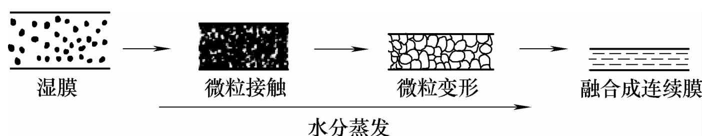



图 7-2　乳胶成膜过程

~10%。

（3）后期　在力的作用下乳胶粒发生变形，粒子间的界面逐步消失，聚合物分子相互渗透缠绕，形成连续膜。这一阶段水分的挥发速度缓慢，这是由于水分主要是从内部扩散到表面来挥发的。除了水分的挥发之外，这一阶段还有成膜助剂的挥发。

## 7.2　涂膜的干燥固化方法及过程

### 7.2.1　涂膜的干燥固化方法有哪些?

涂膜的干燥方法可分为自然干燥、烘干和辐射固化三类。①自然干燥也称常温干燥、自干或气干，指在常温大气中，依靠溶剂挥发、氧化聚合或固化剂固化而干燥形成干膜。在室内室外都可进行，无需特殊的干燥装置，特别适用于建筑装饰性涂料及室外大面积涂装。②烘干又称加热干燥，指对涂料施加外力使湿膜干燥。烘干可分为低温烘干（低于 100℃）、中温烘干（100 ~150℃）和高温烘干（高于 150℃）。烘干可以提高干燥速度、节省工作时间，提高工作效率等，但是烘干需要消耗能源，需要有专门的设备，成本较高。③辐射固化，指利用紫外线或者电子束来使湿膜干燥。辐射固化主要有光照射固化、电子束辐射固化、高周波固化和氨蒸气固化法等。光照射固化也称为紫外光固化，主要用于加有光敏剂的光固化涂料的干燥，适用于流水作业线施工，多用于平面板和塑料、木板表面的涂装。电子束辐射固化专用于电子束固化涂料的干燥，其原理是利用高能量的电子束照射涂膜，从而引起涂膜内的活性基团发生反应而实现固化干燥，干燥时间短，固化过程不产生有害气体，并且可用于不透明涂膜的固化。高周波固化干燥时间短仅十几秒，且电能利用率高，但是只能用于表面为绝缘体的物件如塑料、木板等。氨蒸气固化是特制的氨固化涂料专用的干燥方法。

不同品种的涂料有着不同的干燥方式，所要求的工艺条件和过程也不同。一般根据涂料的品种和被涂物的条件，来选择合适的干燥方法和对应的干燥设备。

### 7.2.2　涂膜的干燥过程是什么?

涂膜的干燥过程是涂膜由液态转变为固态，涂膜粘度逐渐增加，性能逐渐达到要求的过程。在施工过程中，用简单的方法来划分干燥程度，通常习惯性分为以下三个阶段：①表面干燥（或指触干燥），即涂膜从可流动状态干燥到用手指轻触，手指不沾漆，但感觉涂膜仍发粘，并且涂膜上留有指痕。②半硬干燥指在表面干燥的基础上继续干燥到手指轻按涂膜，在涂膜上不留指印的状态。③完全干燥（或成为硬干、打磨干燥）指涂膜干燥到用手指强压也不留下痕迹，用手指摩擦涂膜也不留下伤痕的状态。

### 7.2.3　涂膜干燥程度如何区分?

涂膜的干燥过程及干燥程度的区分方法见表 7-1。

表 7-1　涂膜干燥过程及干燥程度的区分方法

| 编号 | 名　称 | 干燥程度 |
|---|---|---|
| 1 | 触指干燥 | 发粘但不粘手指 |
| 2 | 不粘尘干燥 | 漆面不粘尘 |
| 3 | 表面干燥 | 漆面无粘性，不粘棉花团 |
| 4 | 半硬干燥 | 手指轻捅漆膜不留指痕 |
| 5 | 干透 | 手指强压漆膜不留指痕，手指急速捅漆膜不留痕迹 |
| 6 | 打磨干燥 | 干燥到可打磨状态 |
| 7 | 完全干燥 | 无缺陷的完全干燥状态，涂膜力学性能达到技术指标 |
| 8 | 过烘干（烘烤温度过高或时间过长） | 轻度过烘干，涂膜失光、变色、机械强度下降<br>严重过烘干，涂膜烤焦、机械强度严重下降 |

### 7.2.4　如何选择涂膜的干燥方式？

每种涂膜干燥方式都各有特点，在实际应用中，应该根据涂料的类型、干燥规范、零件形状、材质、壁厚及生产数量，来选择合适的涂膜干燥方式。具体选择参考表 7-2 和表 7-3。

表 7-2　各类涂料的干燥方式

| 涂料类型 | | 涂料品种 | 常温干燥 | 低温烘干 <100℃ | 中温烘干 <150℃ | 高温烘干 ≥180℃ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 挥发性涂料 | | 硝基漆 | ✓ | 40～60℃ | | |
| | | 过氯乙烯漆 | ✓ | | | |
| | | 丙烯酸漆 | ✓ | | | |
| | | 磷化底漆 | ✓ | | | |
| | | 乳胶漆 | ✓ | | | |
| 气干性涂料 | 氧化聚合型 | 油性漆 | ✓ | | | |
| | | 酚醛漆 | ✓ | | | |
| | | 醇酸漆 | ✓ | ✓ | | |
| | | 环氧酯漆 | ✓ | ✓ | | |
| | 潮气固化型 | 聚氨酯 | ✓ | | | |
| | | 环氧漆 | ✓ | | | |
| 烘烤固化型 | | 氨基烘漆 | | | ✓ | |
| | | 丙烯酸烘 | | | ✓ | |
| | | 环氧酚醛漆 | | | | ✓ |
| | | 环氧氨基漆 | | | | ✓ |
| | | 沥青烘漆 | | | | ✓ |
| | | 有机硅漆 | | | | ✓ |
| 固化剂固化型双组分漆 | | 环氧漆 | ✓ | ✓ | | |
| | | 聚氨酯 | ✓ | ✓ | | |
| | | 环氧沥青漆 | ✓ | ✓ | | |

注：✓表示可采用。

表 7-3　涂膜的干燥方法

| 干燥方法 | 特点 | 选择要点 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 涂　　料 | 生产批量 | 零件形状 | 零件壁厚 |
| 自然干燥 | 场地通风要好，灰尘应少；受大气环境影响大 | 快干涂料 | 单件、小批量 | 任意 | 任意 |
| 热空气对流 | 低温烘干可用蒸汽；中、高温烘干可用燃料和电加热；热利用率低，能耗大，干燥性好 | 烤漆和能强制干燥的自干漆 | 单件和成批 | 任意 | >30mm |
| 红外线辐射 | 干燥速度快，热利用率高，间歇式或通过式干燥，红外灯泡板的温度 < 120℃，可作补漆时的干燥；复杂形状工件的各部位干燥程度不一致 | 烤漆和能强制干燥的自干漆 | 批量和大量 | 简单和中等复杂程度 | 20 ~ 30mm 以下 |
| 辐射、对流混合形式 | 兼有二者的特点，复杂形状辐射不利的部位也能良好地干燥 | 烤漆和能强制干燥的自干漆 | 批量和大量 | 任意 | 20 ~ 30mm 以下 |
| 紫外线辐照 | 平板的流水线生产，干燥快（ < 2min)，仅适合于清漆，含对紫外线透射小颜料的色漆不适合 | 光固化涂料（如不饱和聚酯） | 大批量 | 平面 | 各类材质（如塑料、木材等） |
| 电子束辐照 | 效率高（ <1min)，设备投资大 | 聚酯、丙烯酸、氟化聚氯乙烯、某些聚氨酯等 | 大批量 | 平面 | 各类材质 |

### 7.2.5　什么是涂膜的自然干燥?

涂膜的自然干燥因为是放置在大气中常温下干燥，所以自然干燥仅适用于挥发型涂料、自干型涂料和触媒聚合型涂料。涂膜自干速度与气温、湿度、风速和阳光等有关，一般是气温越高，湿度越小，自干条件就越好。还要保持空气清洁，进行适度地换气。在湿度大、通风差和黑暗的场所，干燥变慢。涂膜中溶剂的挥发速度与周围的空气流动（风速）有关，风速越快，溶剂挥发越快。

### 7.2.6　涂膜的自然干燥速度影响因素有哪些?

1）涂料的组成。不同涂料由于组成不同因此自然干燥的速度不同。

2）涂膜厚度。涂膜越厚，达到完全干燥的时间越长，完全干燥越慢，即干燥速度越小。

3）环境温度。干燥时，周围环境气温低，干燥速度就低，温度的提高能提高自然干燥的速度，但温度不宜过高，否则会影响干燥后的涂膜质量。一般建议干燥室温度保持在 10 ~ 35℃之间。

4）环境湿度。自然干燥时，环境湿度对涂膜干燥速度及涂膜质量均有影响，一般自然干燥场地的空气湿度保持在 75% 以下。

5）其他因素。自然干燥时的干燥速度还与干燥时的通风状况、光照等因素有关。

### 7.2.7　什么是涂膜的加热干燥?

加热干燥也称烘干，包括强制干燥和加热烘干，是现代化涂装的主要涂膜干燥方式。加热干燥又可分为低温烘干、中温烘干和高温烘干。

（1）低温烘干　固化温度低于 100℃，主要用于对自干性涂料的强制性干燥，以缩短涂膜的干燥时间，一般为 60～80℃。

（2）中温烘干　固化温度在 100～150℃之间，用于缩合聚合反应固化成膜的涂料，此类涂料的最佳固化温度范围在 120～140℃之间，当温度过高时，会使涂膜的脆性加大。浅色漆一般加热温度较低小于 120℃，涂膜固化较长以避免漆膜发黄；深色漆的加热度则要高一些，以缩短干燥时间，提高工作效率。

（3）高温烘干　固化温度在 150℃以上，适用于水性酚醛、环氧酚醛底漆等，高温加热时，涂膜充分交联固化，提高涂膜的耐蚀性。适合于粉末涂料、电泳涂料等。

### 7.2.8　加热干燥有何特点?

1）可加快涂膜干燥的速率，提高涂装的效率。

2）可缩短涂装作业时间、减少施工占地。

3）采取一定的措施后，可减少对环境的污染。

4）增强涂膜的物理性能和强度指标。

5）耗能高、设备投资大的加热干燥过程必须注意涂料的溶剂挥发所带来的环境问题，遵守有关在烘干室或车间的安全保护，包括防火、防静电、防污染等关于涂装环境和人身健康的国家标准。

### 7.2.9　加热烘干室的安全规定有哪些?

1）烘干室必须做好防火、防爆、防毒的相关安全措施。

2）涂膜在烘干室内干燥和固化的过程中，有可能释放出易燃、易爆、有毒的气体，因此烘干室的通风装置对烘干室的安全至关重要，应控制烘干室内可燃气体的最高浓度不应超过其爆炸下限的 25%（体积分数），空气中粉末最大含量不应超过爆炸下限浓度的 50%（体积分数）。

3）应在可燃性气体的最高浓度区域设置排风口。

4）应保证烘干室排气系统的通畅，防止堵塞。

5）设置温度控制和报警系统，防止烘干室内温度超标。

6）设置烘干室的静电接地装置，并使接地电阻值不大于 100Ω。

7）设置烘干室的外保温层。

### 7.2.10　加热干燥时有哪些注意事项?

在涂膜的固化过程中，如采用加热烘干方式时，应注意如下事项：

1）根据涂料固化时所需要的技术参数，来选择适当的烘干工艺条件、烘干设备，包括烘干温度的设定、烘干时间的确定等。

2）溶剂性涂料的涂膜在进入烘干室前，应在大气环境下晾置一段时间，当湿膜中的溶剂大部分挥发后，再放置烘干室内烘干。

3）根据涂料的固化特性，指定烘干室的工艺参数。

4）烘干室的设置、操作、管理及烘干工艺工程应严格遵守国家相关的安全规程，烘干过程中产生的溶剂蒸气、有害分解物质应及时排除，并做好安全、消防、通风、净化等措施。涂膜的烘干工艺对涂膜的质量起着很关键的作用，固化不完全则会影响到涂膜的强度和寿命，过度的烘干，即烘干温度过高、烘干时间过长等，又会造成涂膜的机械强度、附着力等显著下降。如果湿膜未加处置，便马上送入烘干室内烘干，也会造成涂膜出现桔皮、针孔等缺陷。

### 7.2.11　什么是对流式热风干燥?

对流式热风干燥方式是用电、油、煤气或蒸气首先加热传导介质（空气），然后以自然对流或强制对流的方式，将热传导给被涂饰的工件，从而使涂膜干燥。这种干燥方式的热量传递是由涂膜表面向内部进行的，涂膜表面首先受热，很快干燥成皮，使涂膜内部的溶剂不易挥发散出而降低涂膜的干燥速度；由于涂膜内部溶剂的内扩散力克服不了涂膜的阻力，而引起涂膜鼓泡；当溶剂的扩散能力大于涂膜阻力时，有时引起涂膜表面产生针孔。同时，对流式热风干燥的设备体积大，占地面积多，升温时间长，热能利用率及干燥的效率都比较低，但由于设备简单，仍是目前应用较普遍的方法。

### 7.2.12　什么是辐射式干燥?

辐射式干燥方式不需要任何中间介质，而是把热能转变为各种波长的电磁振动辐射能，直接传导给被涂饰的工件，并能透过涂膜被工件所吸收而转变成热能，使涂层从底层向外层干燥。因此具有很高的热传递效率。

辐射式干燥的方法因使用的辐射线不同而有红外线辐射干燥、紫外线干燥和电子束干燥，后两种方法的干燥效率非常高，在国外已有应用。

辐射式红外线干燥炉（室）主要由炉体、辐射器、反射板和对流加热系统组成。其中主要部件为辐射器，较小尺寸工件用炉宜用管式；较大尺寸工件宜用板式。有煤气的场地宜采用煤气红外线辐射器；氧化镁材质的管式辐射器使用寿命长；而碳化硅材质的板式辐射器则配置较为容易。管式辐射器一般需采用反射屏，反射屏宜采用反射系数高的阳极氧化铝板，反射屏一般为半球面或抛物面。

### 7.2.13　什么是光照射固化法?

光照射固化又称紫外光固化，是加有光敏剂的光固化涂料的干燥方法。通常采用波长为 300 ~ 450nm 的紫外光。光固化涂料的干燥速度与涂膜厚度、紫外光照射强度和照射距离密切相关，涂膜厚，固化时间延长；照射强度越大或距离越近，则固化时间越短。光固化多用于平面板材如木材、塑料表面的涂装，特别适合于流水作业线施工。

### 7.2.14　什么是电子束辐射固化法?

电子束辐射固化法是电子束固化涂料的专用干燥方法。用高能量的电子束照射涂膜，引发涂膜内活性基团进行反应而固化干燥。它在常温下进行，不需加热，能固化到涂膜深部，因而可用于不透明涂膜的固化，干燥时间短，可缩短到几秒钟，特别适用于高速流水线生产，不会产生污浊和有害气体。其缺点是由于渗透性差，对较薄的涂层有效，有辐射盲点，物件凹陷或隐蔽区不易固化透彻，而且辐射装置价格高，安全管理要求严格。

### 7.2.15　辐射式干燥与对流式干燥相比有何特点？

辐射式干燥与对流式热风干燥相比具有干燥速度快、质量好、升温快、热惯性小、结构简单，设备成本低，体积小，节省占地面积，热传导方向性强和节约能源等优点。

但是辐射式干燥也有缺点，如工件大而复杂，被辐射到的部位干燥很快，而辐射不到的部位就需较长时间才能干燥，若等这一部分达到干燥程度，那么已干燥的部位的涂膜就会达到烤脆的程度。所以设计热辐射式干燥炉时，最好使炉膛的形状尺寸与工件形状尺寸相似，保证各处的涂膜能基本同时烘干。

### 7.2.16　什么是高周波固化法？

高周波固化法利用高频振荡所产生的微波激发，促使涂料活化而干燥。这种方法的特点是涂层干燥时间仅 10～20s，电能的利用率可达 70% 以上，但只限于非导体的底材，如塑料、胶合板、木制品、纸张等表面，一般烘烤型涂料均可使用。采用高周波固化的优点：装置比电子射线固化简单、快速，适合于大规模连续生产，涂层干燥由里及表，固化彻底，对人体无损害。缺点是一次性投资较大。

### 7.2.17　什么是氨蒸气固化法？

氨蒸气固化法是一种特制的氨固化涂料设计的专用干燥方法。在干燥箱（室）内产生或通入氨气，将涂上氨固化涂料的物件放入或通过干燥箱（室），停留一定时间，涂膜中成膜物质与氨交联反应而得到干燥的涂膜。

## 7.3　涂膜干燥时间的确定方法

### 7.3.1　什么是涂膜的干燥时间？

涂料以一定的厚度涂覆在被涂物表面，经过物理挥发、烘干等方法形成固体薄膜，这一过程所需要的时间称为涂膜的干燥时间。涂膜的干燥时间由涂料的物理性能、化学性能及外界条件决定，通常又分为表面干燥时间和实际干燥时间两个部分。表面干燥时指的是湿膜的表面从液态转变为固态但其下方仍为液态所消耗的时间。实际干燥时间指的是被涂物表面的液态涂膜由表及里都形成固态涂膜所消耗的时间。

### 7.3.2　涂料的干燥分哪些阶段？

涂料的干燥通常可分为两个阶段：

（1）表面干燥　一定厚度的湿膜，表面从液态变为固态但其下仍为液态，其干燥时间称表干时间。

（2）实际干燥　从施涂好的一定厚度的液态涂膜形成固态涂膜，其干燥时间称为实干时间。

### 7.3.3　表面干燥时间的确定方法有哪些？

常用的表面干燥时间的确定方法有指触法、吹棉球法和小玻璃球法。

（1）指触法　是用手指轻触涂膜的表面，如果感觉有些发粘，但漆并不粘在手指上，即认为达到表面干燥。

（2）吹棉球法　是在涂膜表面放一个脱脂棉球，用嘴将棉球沿着水平方向轻吹，如果棉球能被吹走但膜面并不会留下棉丝，即可认为达到表面干燥。

（3）小玻璃球法　是在 50 ~ 150mm 高的地方涂膜表面倒约 0.5g 直径为 125 ~ 250μm 的小玻璃球，当落在涂膜上的小玻璃球部损伤膜表面但能用刷子轻轻刷离时，就可认为达到表面干燥。

### 7.3.4　涂膜的实际干燥时间的确定方法有哪些？

实际干燥时间的确定，常见的方法有压棉球法、压滤纸法、厚层干燥法和刀片法。

（1）压棉球法　是在涂膜上用干燥实验器压上一个棉球，30s 后移走干燥试验器和脱脂棉球，如果涂膜上不留下棉球的痕迹或出现失光现象，即是达到实际干燥。干燥试验器如图 7-3 所示。

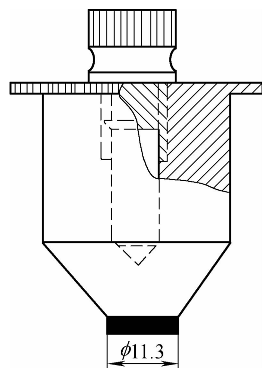


图 7-3　干燥试验器

（2）压滤纸法　是在涂膜上用干燥试验器压下一片定性滤纸，30s 后移走试验器，将试样翻转滤纸若能自由落下，则认为达到实际干燥。

（3）刀片法　用保险刀片在样板上能刮起涂膜，且涂膜底层无粘着现象，认为涂膜已经实际干燥。

### 7.3.5　如何用自动涂膜干燥时间试验仪确定干燥时间？

由于涂料的干燥和涂膜的形成是一个进行缓慢而连续的过程，因此为了能观察到干燥过程中的整体变化，最准确的方法是采用自动涂膜干燥时间试验仪。该仪器是利用电动机通过减速箱带动齿轮，以 30mm/h 的缓慢速度在涂膜上直线移动，全程共 24h。随着涂膜的逐渐干燥，涂膜越来越硬，齿轮测试划针的痕迹也逐渐由深至浅，直至完全消失。划针痕迹完全消失时为实干时间。另一种自动测量是利用马达带动装有细纱的漏斗，在有涂膜的样板上缓慢移动，砂子就不断地掉落在涂膜上，形成直线状的砂粒痕迹，当吹动砂粒，无粘着时为实干时间。还有利用针尖缓慢地在涂膜上画一半径为 50mm 的圆，画一个圆需 24h，这样可以在较小的试板面积上观察涂膜随时间而变化的干燥程度，以及实干所需的时间。但这几种测量也和涂料品种及涂料的固体含量有关。

## 7.4　固化装置

### 7.4.1　烘干室如何分类？

烘干室是加热干燥的主要干燥设备。不同的烘干室有着不同的结构形状和加热方式。根据烘干室的外形可分为死端式和通过式两大类。死端式适用于间断式生产；通过式多用于流水线生产，并且有单行程、多行程、并行式和双层式等之分。通过式还可以分为直通式、桥式和 Π 形式，各种烘干室的外形如图 7-4 所示。

### 7.4.2　对流式烘干室由哪些组成？

对流式干燥设备主要由室体、加热系统、空气幕装置和温度控制系统组成，如图 7-5 所示。

（1）室体　主要起隔热保温作用，因此室体体积及门洞尺寸要尽可能小，护板隔热层要有足够的厚度并且能够有效的起密封作用。

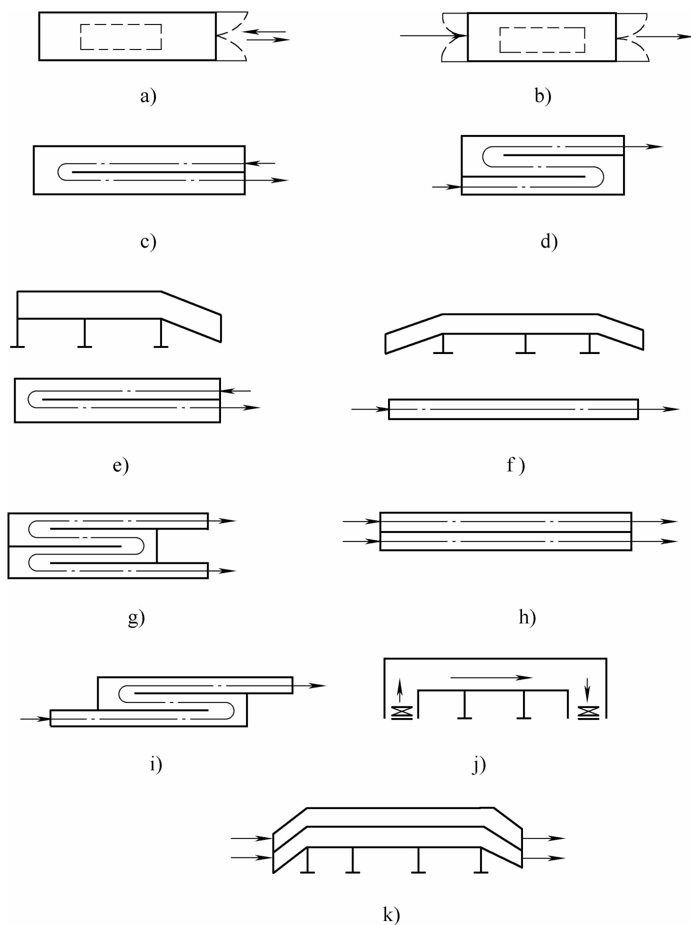



图 7-4　各种外形的烘干室简图

a）死端式　b）通过式　c）双行程直通式　d）多行程直通式　e）双行程半桥式　f）多行程半桥式　g）桥式　h）并行桥式　i）多行程桥式　j）Π 形式　k）双层桥式

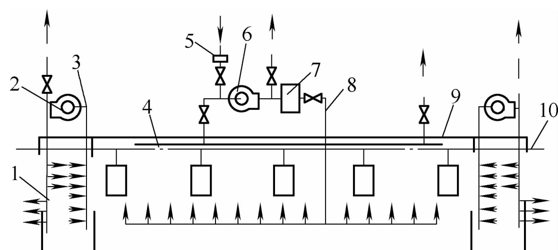



图 7-5　对流式烘干室的结构组成

1—空气幕送风管　2—风幕风机　3—空气幕吸风管　4—吸风管道　5—空气过滤器　6—循环风机　7—空气加热器　8—送风管道　9—室体　10—输送链

（2）加热系统　由风管、空气过滤器、空气加热器及风机等组成。①风管包括吸风管和送风管，并且室外部分为圆形管，室内为矩形管。送风管各个开口处还设有闸板，用于套接各处的送风量，使其保持均衡；②空气过滤器的主要作用是使空气含尘量降到 $0.5mg/m^3$ 以下，从而保证涂膜的表面质量；③加热器主要用于加热空气，有燃烧式加热器、电加热器和蒸汽加热器等。

（3）空气幕装置　不同形式的对流式烘干室对风幕装置的安装要求不同。对于直通式烘干室，需要设置两个独立的风幕装置，来减少热空气从两端洞口逸出。对于桥式或 Π 型烘干室，则不需要设置风幕装置。

（4）温度控制系统　主要作用是通过调节加热器的输出热量来维持烘干室温度的恒定。不同热源的加热器对应的热量调节方式也不同，但各种温度控制系统都有测温和报警装置。

### 7.4.3　对流式干燥有何特点？

对流式干燥是利用热载体，通过对流方式将热量传递给需要干燥的物件。这种干燥的优点有：①加热均匀，适合各种形状的工件，涂膜质量均一；②设备操作简单，维护方便且经济性高；③温度范围大，适合于各种涂料干燥。

主要缺点有：①设备占地面积大；②升温速度慢，不易控制操作温度；③涂膜较易产生气泡、针孔、起皱等缺陷。

### 7.4.4　紫外线固化设备由哪些组成？

紫外线固化装置一般由淋涂装置、光照固化装置、传动装置、控制系统、冷却系统和空气净化装置等六大部分组成。其中，淋涂装置由涂料贮存器、输料泵、过滤器、淋料刀等组成；光照固化装置由灯源、聚光装置和调压器组成；传动装置使用电动机带动传动带实现平稳传动，传动速度根据涂膜的厚度进行调节；控制系统主要用于控制整个设备的操作，保证设备能正常工作；冷却系统用于调节冷却灯管的温度；空气净化装置主要作用是净化进风的空气，以防止粉尘进入操作间，影响涂膜表面质量。

### 7.4.5　远红外辐射固化设备由哪些组成？

各种类型的远红外辐射固化设备一般都由室体、辐射加热器、空气幕、通风系统和温度控制系统等组成。

（1）室体　远红外辐射烘干室的室体与对流烘干室的室体相似，主要起隔热保温作用。

（2）辐射加热器　根据热源的不同，可分为电热式和燃气式。电热式又可分为直热式、旁热式和半导体式。旁热式又分为管式、板式和灯泡式三种，分别如图 7-6、图 7-7 和图 7-8 所示。

（3）空气幕　与对流烘干室的空气幕相似。

（4）通风系统　主要有以下三个作用：①加速蒸汽及其他溶剂蒸气的排出；②控制室体内蒸气浓度，防止爆炸；③防止室内气体外逸，即使有少量外逸，也要保证符合劳动卫生的要求。

（5）温度控制系统　由测量、显示和控制仪表组成，用于保证室内各个部分的温度达到干燥工艺要求。

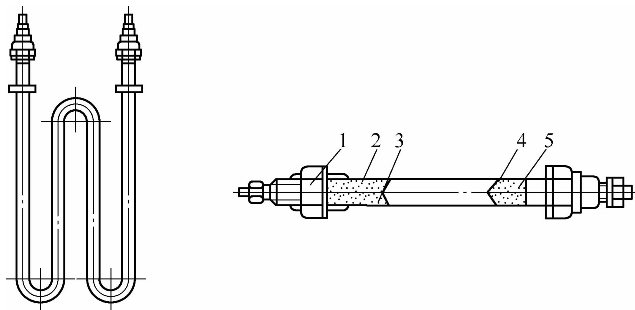



图 7-6　管式辐射器结构
1—连接螺母　2—绝缘套管　3—电阻丝
4—金属外壳　5—氧化镁粉

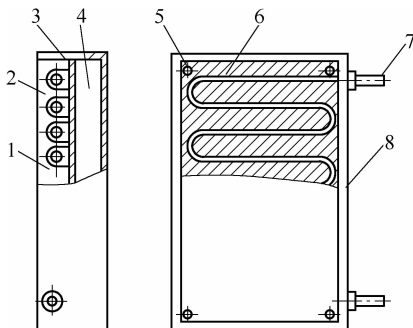



图 7-7　板式辐射器结构
1—远红外辐射器　2—氧化硅板　3—电阻丝压板
4—保温材料　5—安装螺母　6—电阻丝
7—接丝装置　8—外壳

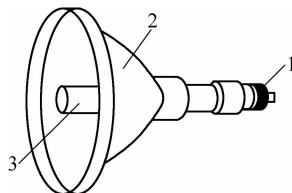



图 7-8　灯泡式辐射器结构
1—灯头　2—发射罩　3—辐射元件

### 7.4.6　电子束固化设备有何性能?

电子束固化是通过电子束的照射时涂层高分子产生交联固化，电子束由加速器产生。电子束固化设备由加速器高压发生器和室体等组成。加速器包括电子枪、加速管、扫描部、真空泵和照射窗。电子枪发射电子，加速管将电子束加速，扫描部用于限制电子束的扫描范围。

### 7.4.7　如何选择固化设备?

1）固化设备的选用应该根据单位时间内被涂物（工件）的数量、工件的间距或者输送设备的线速度、工件的尺寸外形、烘干场地和涂料的固化技术要求等条件。

2）烘干室的选用应该注意涂层在烘干室内的固化过程、热源和烘干室的形状。

3）明确涂层在烘干室内的整个固化过程中涂层状态随温度的变化情况。

4）根据固化涂料的温度、涂层的质量要求、当地的能源状况及综合经济条件等因素，来综合考虑选择热源。

5）在满足工艺要求的前提下，烘干室的形状的选择应尽量以减少占地面积、节约能源、方便安装和运输等为原则。

# 第 8 章　涂料及涂膜性能的质量检测

## 8.1　涂料性能的检测

### 8.1.1　涂料检测时怎样取样？

1）使用部门有权按产品标准对产品质量进行检验，如果发现产品质量和标准规定不符合时，与生产厂家共同复检或向上一级检测中心申请仲裁，如仍和规定不相符，使用部门有权退货。

2）从每批产品中随机取样，取样数量为同一生产厂家的总包装桶数的 3%（批量不足 4 桶者，不得少于 30%；批量不足 100 桶者，不得少于 3 桶）。

3）取样时，将桶盖打开，对桶内涂料产品进行目测观察，记录表面状态，如是否有结皮、稠度、分层、沉淀等现象。

4）将桶内涂料搅拌均匀，每桶取样不得少于 0.5kg。将所取的试样分成两份，一份封存备查，另一份立即进行检验。若检验结果不符合标准的规定时，整批产品认为不合格。

5）取样时，所用的工具、器皿等均应洁净。样品不要装满容器，要留有 5% 的空隙，盖严。样品一般放在清洁干燥、密封性好的磨口玻璃瓶或金属小罐内，贴上标签，注明取样日期等有关细节，并存放在阴凉干燥的场所。

6）对生产线取样时，应以适当的时间间隔从放料口取相同量的样品再混合。搅拌均匀后，取两份各为 0.2～0.4kg 的样品放入样品容器中，盖严并做好标记。

### 8.1.2　如何测定涂料的外观？

通过目测，观察涂料有无分层、变稠、发浑、返粗、胶化及严重沉降现象。对于存放时间较长、已达到或超过贮存期的涂料，也应作相应的检查。一般涂料产品的贮存期为 6～12 月，由于颜料密度较大，存放过程中难免会发生沉降，因此需要特别检查沉降结块程度。一般可用刮刀来检查，若沉降层较软，刮刀容易插入，则沉降层容易被搅起重新分散开来，待检查其他性能合格，涂料可以继续使用。

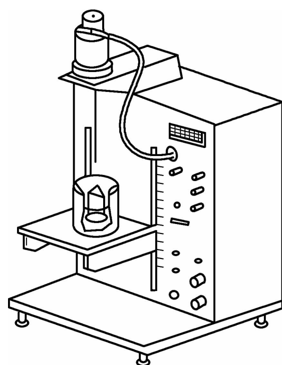


图 8-1　测力仪

涂料的沉降结块性也是评价涂料贮存稳定性的手段，可用如图 8-1 所示的测力仪，来测定沉降程度。试验时，将试样罐放在测力仪平台上，平台以 15mm/min 的速度向上缓慢移动，仪器探头逐渐压入沉淀物中，记录仪就记录下探头在插入沉淀物时的阻力和深度，以此判断沉淀物的软硬度和厚度。根据探头穿透力的大小，可确定沉淀物被重

新搅起分散的能力，其对应关系见表 8-1。该测力仪还可以用来测定在一定时间内的沉降量，由记录仪记录下沉积量与时间的关系。

**表 8-1　涂料沉淀物特性参数**

| 穿透力/N | 沉淀物特性 | 穿透力/N | 沉淀物特性 |
|---|---|---|---|
| ≤1 | 很软、易重新分散 | 4 ~ 6 | 硬、再分散困难 |
| 1 ~ 2 | 软、分散性好 | >6 | 很硬、不能再分散 |
| 2 ~ 4 | 较硬、可以再分散 | | |

### 8.1.3　如何测定涂料的透明度?

透明度通常为不含颜料的涂料产品，如清漆、清油和漆料、稀料等的测试项目，看其是否含有浑浊物和机械杂质等。

透明度是液体物质的一项重要技术指标，由于产品含有机械杂质和水分等，将影响成膜后的颜色和光泽，并会延迟漆膜的干燥时间。测定方法是将试样倒入内径为（15 ±1）mm 的干燥洁净的无色玻璃试管内，在天然散射光线下对光观察，看其是否含有浑浊物和机械杂质。

### 8.1.4　如何用涂 -1 粘度计法测粘度?

涂 -1 粘度计如图 8-2 所示。每次测试前，需用蘸有溶剂的纱布将粘度计内部擦拭干净，在空气中干燥或用冷风吹干，对光观察粘度计漏嘴是否清洁，然后将粘度计置于水浴套内，插入塞棒。将试样搅拌均匀，有结皮和颗粒时，用孔径为 246μm 的金属筛过滤，调整温度至（23 ±1)℃或（25 ±1)℃，然后将试样倒入粘度计内，调节水平螺钉使液面与刻线刚好重合，静置片刻，使试样中气泡逸出，盖上盖子并插入温度计，试样保持在（25 ±1)℃。在粘度计漏嘴下面放置一个 50mL 量杯，当试样温度符合要求后，迅速将塞棒提起，试样从漏嘴流出并滴入杯底时，立即开动秒表。当杯内试样达到 50mL 刻度线时，立即停止秒表，试样流入杯内 50mL 所需的时间（s）即为试样的流出时间，两次测定值之差不应大于平均值的 3%。

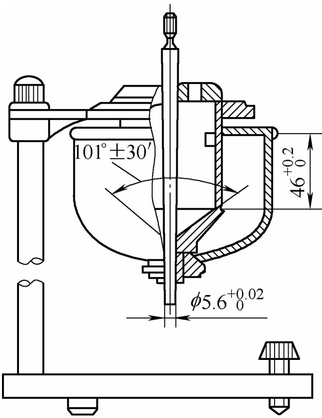



图 8-2　涂 -1 粘度计

### 8.1.5　如何用涂 -4 粘度计法测粘度?

涂 -4 粘度计如图 8-3 所示。粘度计的清洁处理及试样准备同涂 -1 粘度计测试法。通过调整水平螺钉使粘度计处于水平位置，在粘度计漏嘴下面放置 150mL 的搪瓷杯，用手堵住漏孔，将试样倒满粘度计中，用玻璃棒将气泡和多余的试样刮入凹槽，然后松开手指，让试样流出，同时立即开动秒表。当试样流液（丝）刚中断时停止秒表，试样从粘度计流出的全部时间（s）即为试样的条件粘度。测试时，试样的温度为（23 ±1)℃或

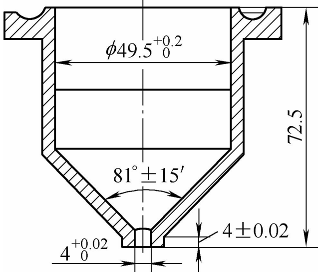



图 8-3　涂 -4 粘度计

(25 ±1)℃，两次测定值之差不应大于平均值的3%。

### 8.1.6　如何测定涂料的细度?

细度严重地影响涂膜的平整度及光亮度。况且在贮存和兑稀的过程中，有些颜料容易絮凝返粗，细度的检测变得尤为重要。

细度一般采用刮板细度计测试。取几滴涂料滴在沟槽的最深端，持刮刀与平板垂直，从深槽部位向浅槽部位快速拉过，充满平板沟槽，在 5s 以内与沟槽表面呈 15°～30°视线角对光观察显露颗粒，记下相应的刻度线，在读数以上的相邻分度线内不得超过三个颗粒刮板细度计读数示意如图 8-4 所示。

各类涂料的细度要求如下：①高装饰面漆为 5～20μm；②防锈底漆为不大于 50μm；③平光面漆为 30～40μm；④半光面漆为 25～35μm。

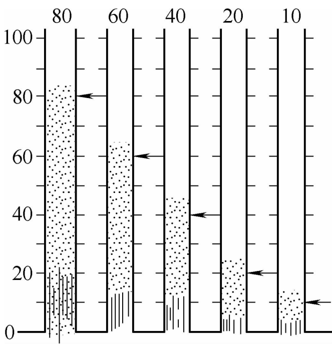



图 8-4　刮板细度计读数示意

### 8.1.7　如何用培养皿法测定涂料中固体含量?

1）先将干燥洁净的培养皿放在（105 ±2)℃烘箱内焙烘 30min，取出放入干燥器中，冷却至室温后称重。

2）用磨口滴瓶取样，以减量法称取 1.5～2g 试样（过氯乙烯漆取样 2～2.5g，丙烯酸漆及固体含量低于 15% 的漆类取样 4～5g)，置于已称重的培养皿中，使试样均匀地流布于容器的底部，然后放入已调节到表 8-2 所规定温度的鼓风恒温烘箱内，焙烘一定时间后，取出放入干燥器中冷却至室温后称重，然后再放入烘箱内焙烘 30min，至前后两次称重的重量差不大于 0.01g 为止（全部称量精确至 0.01g)，试验平行测定两个试样。

表 8-2　各种涂料烘焙温度规定表

| 涂料名称 | 焙烘温度/℃ |
|---|---|
| 硝基漆类、过氯乙烯漆类、丙烯酸漆类、虫胶漆 | 80 ±2 |
| 缩醛胶 | 100 ±2 |
| 油基漆类、酯胶漆、沥青漆类、酚醛漆类、氨基漆类、醇酸漆类、环氧漆类、乳胶漆（乳液)、聚氨酯漆类 | 120 ±2 |
| 聚酯漆类、大漆 | 150 ±2 |
| 水性漆 | 160 ±2 |
| 聚酰亚胺漆 | 180 ±2 |
| 有机硅漆类 | 在 1～2h 内，由 120℃升温到 180℃，再于（180 ±2)℃保温 |
| 聚酯漆包线漆 | 200 ±2 |

### 8.1.8　如何测定涂料的结皮性?

结皮性可分两个方面来测定：一是涂料在密闭桶内的结皮情况；二是在开桶后使用

过程中的结皮速度。对于某些涂料来说，在敞桶的情况下，结皮现象不可能完全防止，但涂装操作者应注意如何使结皮生成速度及其性质控制在允许的范围内，以尽量减少损失。

（1）密闭试验　可用带有螺旋顶盖的玻璃瓶，装入容积 2/3 的试样，旋紧顶盖，倒放在暗处，可定期检查直到结皮生成为止。试验时，最好与已知结皮性质的样品作比较。

（2）敞罐试验　样品装入贮罐深度的一半，敞盖并时常观察，直到结皮为止。试验时最好也用已知性质的样品同时敞盖存放，以便在不同阶段比较这两者的结皮情况。

### 8.1.9　如何测定涂料的灰分？

工厂实用分析方法为灼烧法，先将试样在电炉上焙烧至完全炭化后，再放入高温炉中灼烧转化为灰分，然后冷却并称量。所用到的仪器设备有天平（感量为 0.0001g）、瓷坩埚（50mL）、电炉或电热板、马弗炉（800℃以上）、坩埚夹、玻璃干燥器（硅胶干燥剂）。测定方法如下：

1）取瓷坩埚在马弗炉中灼烧后，放在干燥器中冷却，称量直至恒重，备用。

2）精确称取 5～10g 试样置于坩埚内，将坩埚先在电炉上焙烧，焙烧时不能自燃或溢出，达到完全炭化后，放入马弗炉中灼烧。

3）马弗炉温度分别由 200℃、400℃、600℃依序加温至 800℃，并在 800℃恒温灼烧 2h，直到残渣完全烧为灰烬。

4）切断电源，使炉内温度慢慢下降，至 200℃左右时，用坩埚夹取出坩埚，放入干燥器中。

5）冷却至室温后，称重，再移入马弗炉中灼烧，冷却并称重，重复操作，直至恒重（全部称量精确至 0.0001g）。

### 8.1.10　如何测定涂料的密度？

密度为单位体积内所含物质的质量，可用下式表示

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中　$\rho$——密度（g/mL）；

$m$——质量（g）；

$V$——体积（mL）。

通过测定涂料的密度，可以较快地估算出单位容积内涂料的质量，并计算出单位面积上涂料的耗用量，有利于施工及管理。

涂料密度的测定采用比重瓶法（质量/体积杯），在规定的温度下进行，测试方法如下：

1. 仪器

1）容量为 20～100mL 的适宜玻璃比重瓶，如图 8-5 和图 8-6 所示，另一种金属比重瓶如图 8-7 所示。

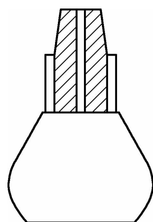


图 8-5　盖伊-吕萨克（Gag-Lussac）比重瓶

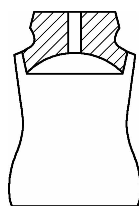


图 8-6　哈伯德（Habband）比重瓶

2）温度计，分度为 0.1℃，精确到 0.2℃。

3）水浴或恒温室，当要求精确度高时，能够保持在试验温度的 ±0.5℃范围内。工业生产上要求保持在试验温度的 ±2℃的范围内。

4）分析天平，要求高精度时可精确至 0.2mg。

2. 测试程序

（1）比重瓶的校准　用铬酸溶液、蒸馏水和蒸发后不留下残余物的溶剂依次清洗玻璃比重瓶，并使其充分干燥。用蒸发后不留下残余物的溶剂清洗金属比重瓶，也将它充分干燥。将比重瓶放置至室温，并将其称重。若精确度要求很高，则应连续清洗、干燥和称量比重瓶，直至两次相继的称量之差不超过 0.5mg。

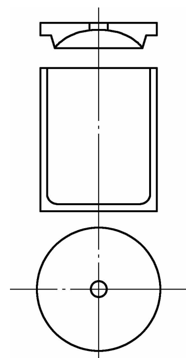


图 8-7　金属比重瓶

在低于试验温度［（23 ±2)℃，精确度要求更高时，则为（23 ±0.5)℃］不超过 1℃的温度下，在比重瓶中注满蒸馏水，塞住或盖上比重瓶使留有溢流孔开口，严格防止比重瓶中出现气泡。

将比重瓶放在恒温室或恒温水浴中，直至瓶的温度和瓶中所含物的温度恒定为止。用有吸收性的材料（如棉纸）擦去溢出物质，彻底擦干比重瓶的外部。立即称量该注满蒸馏水的比重瓶，精确到其质量的 0.001%。

直接用手操作时，比重瓶会增高温度而引起溢流孔产生更多的溢流，并会留下指印。因此建议用钳子或用干净、干燥的吸收性材料罩护的手来操作比重瓶。

立即快速地称量注满了蒸馏水的比重瓶，可使质量损失减少到最小。质量损失是由于水通过溢流孔的蒸发和继达到温度后的第一次擦干之后水的溢出，该溢出物不留在覆盖了的罩内。

（2）比重瓶容积的计算　通过下式来计算比重瓶的容积 $V$（以 mL 表示）

$$V=\frac{m_1-m_0}{\rho}$$

式中　$m_0$——空比重瓶的质量（g）；

$m_1$——比重瓶及水的质量（g）；

$\rho$——水在 23℃或其他商定温度下的密度（g/mL），水的密度见表 8-3。

表 8-3　水的密度

| 温度/℃ | 密度/（g/mL） | 温度/℃ | 密度/（g/mL） |
|---|---|---|---|
| 15 | 0.9991 | 23 | 0.9975 |
| 16 | 0.9989 | 24 | 0.9973 |
| 17 | 0.9987 | 25 | 0.9970 |
| 18 | 0.9986 | 26 | 0.9968 |
| 19 | 0.9984 | 27 | 0.9965 |
| 20 | 0.9982 | 28 | 0.9962 |
| 21 | 0.9980 | 29 | 0.9960 |
| 22 | 0.9978 | 30 | 0.9957 |

3）产品密度的测定　用产品代替蒸馏水，重复上述操作步骤，用沾有适宜溶剂的吸收材料擦掉比重瓶外部的色漆残余物，再用干净的吸收材料擦拭，使之充分干燥。

当使用装有颜料产品的玻璃比重瓶时，很难擦掉残存的颜料，特别难以从毛玻璃表面上擦掉，这样的残余物可通过在水或溶剂槽中进行超声振荡而除去。

为了使误差减至最小，接口应牢固地装好，为了精确地测定，最好用玻璃比重瓶，对于为控制生产而需要的密度测定，通常使用金属比重瓶（质量/体积杯）。必须在同一温度下进行比重瓶的校准和测定产品的密度。

### 8.1.11　如何测定涂料的干燥性？

涂料干燥程度分为表面干燥和实际干燥两个阶段。

1. 表面干燥时间测定

（1）吹棉球法　在涂膜表面轻轻放一个脱脂棉球，在距棉球 10～15cm 处用嘴沿水平方向轻吹棉球。如能吹走，膜面不留有棉丝，即认为已表面干燥。

（2）指触法　用手指轻触涂膜表面，如感到有些发粘，但无涂料粘在手指上，即认为已表面干燥。

2. 实际干燥时间测定

（1）压滤纸法　在涂膜上放一片（15mm×15mm）定性滤纸（光滑面接触涂膜），在滤纸上轻放干燥试验器（重 200g，底面积 $1cm^2$），同时开动秒表，30s 后拿走干燥试验器，将样板翻转，若滤纸能自由落下，或用手指在背面轻敲几下后滤纸能自由落下而无纸纤维留在涂膜上，即为实际干燥。

（2）压棉球法　在涂膜上放一个脱脂棉球，在棉球上再轻轻放上干燥试验器，同时开动秒表，经 30s 后拿掉干燥试验器和棉球，样板转动 5min，观察涂膜无棉球的痕迹及失光现象，涂膜上若留有 1～2 根棉丝，用棉球能轻轻掸掉，均认为涂膜已实际干燥。

### 8.1.12　如何测定涂料的 pH 值？

测定 pH 值可以采用市售的各种 pH 计。先按 pH 计使用说明书校准好 pH 计，测定

温度一般为 25℃，重复测定三次，取平均 pH 值。槽液、极液和 UF 液的 pH 值可直接测定。电泳涂料（原液）和树脂（乳液）应用去离子水稀释一倍后测定。

### 8.1.13　如何测定涂料的流平性?

流平性是将涂料刷涂或喷涂在物体表面上，经一定时间后观察涂膜是否能自行流展成平滑表面的性能。一般是先将试样调至施工粘度，然后涂刷在已有底漆的样板上，使之平滑均匀，然后在涂膜中部用刷子纵向抹一刷痕，观察多长时间由刷痕消失、涂膜又恢复成所需的时间来决定。不超过 10min 为良好，10 ~ 15min 为合格，经 15min 后试样表面仍未均匀为不合格。

也可以在较大面积的样板上进行，先将试样涂刷样板面积的一半，经 10min 后，再涂刷刷板的另一半，来观察两部分湿膜连接处的流干性能。

### 8.1.14　如何测定电泳漆的泳透力?

泳透力的测定方法很多，有钢管法、盒式法、间隙法、平行板法和 V 形法。国内常用的是“一汽钢管法”，它是在福特钢管法的基础上经改进而制定的电泳漆槽液的泳透力测量法。

在涂装生产现场，衡量泳透力好坏的办法是测定朝向电极和背离电极表面的涂膜厚度和拆开被涂物来观察。如果内表面膜厚达到外表面（朝电极面）的 2/3，则泳透力为优，1/2 为良，膜厚极薄或露底则为差，则应改进被涂物的结构，如采用装辅助电极或开工艺孔等措施来解决内腔的涂泳质量问题。

也可用钢管的泳透深度（单位为 cm）表示泳透力。

采用钢管法时，钢管长 220mm，内径 20mm，内插 230mm × 15mm × 1mm 钢条，下端与钢管齐平，并与钢管导线相连。钢管浸入电泳涂料液 200mm，在适宜的电泳条件下沉积 3min。沉积完毕后，取出钢条，洗净烘干，钢条上沉积呈现三种状态，如图 8-8 所示。

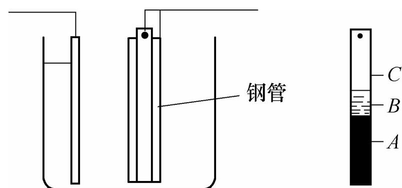



图 8-8　钢条电沉积分布状况

*A*—沉积上完整涂膜的长度

*B*—不完整涂膜的长度

*C*—没有沉积上涂膜的长度

以钢条上沉积的涂膜的高度与浸入槽液的高度比来表示泳透力

$$泳透力(\%)=\frac{漆膜泳入深度}{钢板条浸入漆液深度}\times 100\%$$

$$H=\frac{A+B/2}{200}\times 100\%$$

式中　$H$——泳透力（%）；

$A$——沉积上完整涂膜的长度（mm）；

$B$——不完整涂膜的长度（mm）。

该方法中，钢管也可用玻璃管或塑料管。钢管法适应于高泳透力测定，钢管与插入的钢条的规格也可略有不同。

阴极电泳涂料的泳透力一般在 80% 以上，阳极电泳涂料的泳透力较低，最好的不

超过 70%。对内腔有防锈性要求的工件，一般采用阴极电泳涂装。

### 8.1.15 如何测定遮盖力?

遮盖力是指色漆涂成均匀的薄膜使涂装表面不再呈现底色的能力。可用两种方式来表示，即以测定遮盖单位面积所需的最小用漆量表示（单位为 $g/m^2$），或以遮盖住底面所需的最小湿膜厚度表示（单位为 μm）。

目前，测定遮盖力的通用方法是采用单位面积重量法（也称黑白格板法），一般是采用黑白格玻璃板。用刷子将涂料均匀地涂刷于黑白格玻璃上至看不见黑白格为止，将所用的涂料秤重，然后按下式计算（以湿漆膜计）

$$X = 10000 \frac{m}{A}$$

式中 $X$——遮盖力（$g/m^2$）；

$m$——黑白格板完全遮盖时涂装质量（g）；

$A$——黑白格板涂装面积（$cm^2$）。

这种方法操作简单，黑白格板制作也较方便，但有时终点不好观察。另外，产品的流平性及操作时的刷痕均对遮盖力的测试结果有一定的影响。

### 8.1.16 如何测定打磨性?

在涂装作业过程中，总是需要进行局部的打磨修整，并且对于在旧涂膜表面涂装或腻子表面，需要进行彻底的整体打磨。因此，打磨是涂装过程中必不可少的一道工序，打磨的难易程度直接影响到施工效率。

打磨性一般根据砂纸打磨时的沾砂性或打磨平整的难易程度来判断。当沾砂严重时，打磨时感觉发腻，就不太容易打磨平整，打磨性就差。例如用 300#水砂纸打磨 30 次，看是否易打磨不起卷；或用 200#水砂纸、200g 质量下，打磨 100 次，应打磨平整。一般硬涂膜有较好的打磨性，软涂膜的打磨性很差。

### 8.1.17 如何测定涂料的使用量?

涂料使用量是指涂料在正常施工情况下，涂刷单位面积所需的数量，以 $g/m^2$ 来表示。涂料使用量的测定，可供施工时用料计算作参考。它与着色颜料的多少无关，但受产品的密度影响较大。试验时，可采用喷涂或刷涂，然后按下式计算

$$m_t = 10000 \frac{m - m'}{A}$$

式中 $m_t$——涂料的使用量（$g/m^2$）；

$m$——涂装后板的质量（g）；

$m'$——涂装前板的质量（g）；

$A$——涂装面积（$cm^2$）。

### 8.1.18 如何测定涂料的电导率?

1）按电导率仪使用说明书的要求，安装并调试好。

2）按产品标准要求在烧杯中配制 100mL 电泳漆液（或从电泳槽中直接提取约 100mL 已知固体含量的槽液），在恒温水浴上使其恒温于（25 ± 0.5）℃。

3）把按使用说明书规定标定好的电导电极插入恒温的被测电泳漆液中，按使用说明书的要求进行操作（电导率仪的电导电极常数调节旋钮必须指向标定的电导电极常数值）。读出指针指示读数，重复测定三次，取平均值，即为被测电泳漆液的电导率。每次平行测定的电导率数值与平均值之差不得超过 3%，否则应重新测定。

#### 8.1.19　如何测定重涂性？

重涂性是指在规定间隔时间内，第二道涂层对其底层有无出现咬底、不干、渗色和结合力差等问题。咬底、不干、渗色通常是由于涂料使用不配套或涂装间隔时间太短；涂装间隔时间太长或在旧涂膜上重涂则易产生结合力差的问题。因此，多道涂覆或复合涂层体系时，重涂性就表现为一项非常重要的施工性能。不过，重涂性可以通过对施工工艺的调整来改善。

#### 8.1.20　如何测定溶剂的含量？

1）根据电泳涂料中所含的溶剂含量和品种，以每一种纯溶剂及若干个浓度等级，用气相色谱仪作出谱图，计算出浓度与脱附峰面积的关系曲线，并记录出峰时间。

2）用高速离心机将电泳槽液试样进行高速离心分离。

3）取分离后的上层清液，用气相色谱仪作出谱图，从峰时间定出溶剂品种。计算出脱附峰的面积，对照纯溶剂的浓度与峰面积的关系曲线，查出溶剂的相应浓度。

#### 8.1.21　如何测定电泳漆的消泡性？

电泳槽液消泡性的测定方法是：用 500mL 量筒装 200mL 电泳槽液，塞上塞子，以 1 次/s 的速率翻转 20 次，观察起泡及泡沫消失的变化。起泡后每 5min 观察并记录 1 次，记录 30min 泡沫变化情况。

## 8.2　涂膜质量及常规性能的检测

#### 8.2.1　如何测定涂膜的厚度？

涂装产品根据其用途和使用环境不同，对涂膜厚度有直接的要求。另外，涂膜性能只有在同等厚度下才有可比性，因此，涂膜厚度是涂料施工过程中很重要的一项控制指标。

涂膜厚度分别有湿膜厚度和干膜厚度。湿膜厚度用于施工现场对涂膜厚度的直接控制和调整，干膜厚度则用于质量监控与验收。

1. 湿膜厚度测定

湿膜厚度用带有深浅依次变化锯齿的圆盘或金属板，垂直压在湿膜表面，直接读取首先沾有湿膜的锯齿刻度。

2. 干膜厚度测定

一般采用磁性法来测定干膜厚度。磁性法是以探头对磁性基体的磁通量或互感电流为基准，利用其表面非磁性涂层的厚度不同，对探头磁通量或互感电流的线性变化值来测定涂层厚度。因此磁性法只适合于测量磁性基体表面上的非磁性涂层。

根据其测量原理，测试仪器又分为永磁测厚仪和电磁感应测厚仪两种。永磁测厚仪具有结构简单、价廉、实用的优点，非常适合于携带和现场测试。较早的永磁测厚仪测

量精度和准确度都较差，最新的永磁测厚仪采用稀土钴金属永久磁体和磁化钨探头，既耐磨损且耐用、又能长期保持准确性。另外还有一种笔形测厚仪，测量不受表面形状的限制，并能在高达230℃的表面进行测量，测量范围5～500μm。

电磁感应测厚仪已经由原来的指针式发展为数显式，如国产QUC-200型数显式磁性测厚仪。其操作过程如下：接通电源预热20min→将“选择”开关置于“电压”，检测电池是否在16.5V以上→再将“选择”开关置于“厚度”→调零→用100.0μm标准片校准→测量。

用磁性法测量镀锌铁皮表面涂膜时，由于镀锌铁皮太薄（0.5～0.8mm），测量误差较大，可在镀锌铁皮背面衬以厚铁板或仪器所带标准基板进行调零、标准和测试。测量取距离试板边缘1cm以外的上、中、下三个点的平均值。

国外还有一些更先进的测厚仪，具有自动调校、数据储存、统计和打印输出功能，能满足ISO9000质量管理标准的要求。

### 8.2.2 如何测定漆膜的光泽？

所谓光泽，就是漆膜表面把投射其上的光线向一个方向反射的表现，反射光量越大，则其光泽越高。漆膜的光泽是装饰性涂层的一项很重要的指标。

光泽测量一般采用光电光泽计，其简单原理如图8-9所示。光源 $S$ 发出的光线经透镜 $L_1$ 变成平行光线以一定的角度 $\alpha$ 如45°投射到被测表面 $T$ 上，在 $T$ 上再以同样的角度反射的光线经透镜 $L_2$ 聚集到光电池 $F$ 上，产生的光电流借助于检流计就可得出光泽的读数。

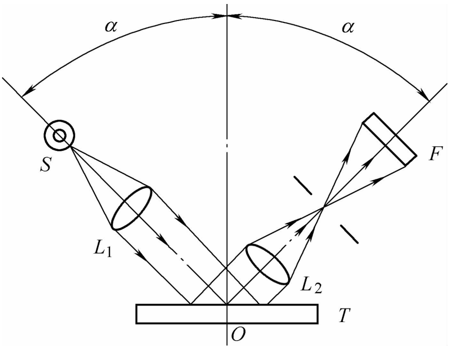



图8-9 光泽测定原理简图

一般光泽的大小均是相对的比较值，即光泽计附有一块高光泽的标准板，规定为100%。把需测试样板的光泽与标准板作比较。

目前涂料光泽的测量所使用的光电光泽计一般均采用45°或60°，按规定60°光泽计测量的涂料光泽其分类见表8-4。

**表8-4 涂料光泽分类表**

| 名称 | 光泽 | 名称 | 光泽 |
|---|---|---|---|
| 高光泽 | 70%以上 | 蛋壳光～平光 | 2%～60% |
| 半光或中等光泽 | 30%～70% | 平光 | 2%以下 |
| 蛋壳光 | 30%～60% | | |

对于70%以上的高光泽漆膜可以采用20°的光电光泽计测量。因为光源的入射角越小，其对高光泽漆膜的反射越灵敏，以便对属于高光泽一类的漆膜作进一步的区分；相

反，对于低光泽的漆膜则可以采用入射角较大的（如 75°）光电光泽计更为有利。因此，目前光泽计的进一步发展是采用多角光泽计（0°、20°、45°、60°、75°）或变角光泽计（20°～85°之间均可测定）以使一台仪器能有多种用途，从而扩大了测试的范围。目前国内常见的有 SCY-1 型便携式数字光泽计。

### 8.2.3　如何测定漆膜颜色？

颜色是一种视觉，所谓视觉就是光刺激人的眼睛之后，在大脑中引起的反映，因此颜色与光密切相关。颜色是对物体反射光的特性的描述。

目前，测定漆膜颜色一般方法是将试样与标准样同时制板，在相同的条件下施工，干燥后，经天然散射光线目测检查，如试样与标准颜色无显著差别，即认为符合技术容差范围；也可以将试样制板后，与标准色卡比较。以满足用户的需要。

另外，还可以采用仪器测定漆膜颜色，如使用 BSY 型便携式颜色比色仪等进行测定。

### 8.2.4　如何用铅笔硬度法测定涂膜硬度？

采用一套已知硬度的铅笔笔芯端面的锐利边缘与涂膜成 45°角划涂膜，以不能划伤涂膜的最硬铅笔硬度表示。由于用力上的差别，用手工操作时偏差较大，可用专门的铅笔试验仪来测试。

用铅笔划涂膜时，既有压力，又有剪切作用力，与摆杆的阻尼作用是不同的，它们之间也就没有换算关系。

### 8.2.5　如何测定涂膜的抗石击性？

在足够短的时间里，模拟涂膜在使用时期受外界石击作用所产生的后果，可以测定涂膜的抗石击性。抗石击等级由在 50mm×50mm 的试板上石击点数等级和石击点直径等级表示。

石击投射机如图 8-10 所示，使用的鹅卵石（水冲过的铺路石）直径为 9.5～16.5mm，试板规格为 200mm×100mm。

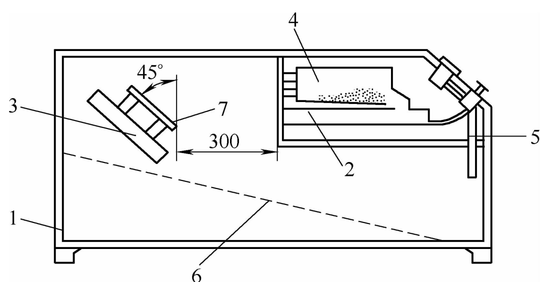



图 8-10　石击投射机

1—箱体　2—碎石投射管　3—试板夹具　4—振动料　5—喷气装置　6—筛石用的金属网　7—固定试板处

操作步骤：

1）钢试板完成涂装至少 48h 后，塑料试板完成涂装至少 5d 后，将试板放入（5.5±0.5）℃温度的静态冷凝箱内 2h 后进行试验。

2）将试板在试板夹具上夹好，料斗内装上 0.5L 鹅卵石。

3）先将空气压力调到（0.5±0.02）MPa，再打开气阀，待所有的石子被投射完后，关闭气阀。

4）取出试板，用胶带粘贴整个石击表面，然后用手迅速撕下胶带。

涂层抗石击性等级用石击点的数量等级代号和直径等级代号表示，代表抗石击程度的等级代号有 7A 级、5B 级、3C 级和 1D 级。①7A 级表示在 50mm×50mm 的试板上有

直径小于 1mm 的石击点 10 ~ 24 个；②5B 级表示在 50mm × 50mm 的试板上有直径小于 3mm 的石击点 50 ~ 74 个；③3C 级表示在 50mm × 50mm 的试板上有直径 3 ~ 6mm 的石击点 100 ~ 150 个；④1D 级表示在 50mm × 50mm 的试板上有直径大于 6mm 的石击点 250 个以上。

### 8.2.6　如何测定涂膜的冲击强度?

工件或产品经涂装施工后，在使用过程中会受到冲击力的作用，涂膜能否经得住这种冲击力的影响，往往先对涂膜进行耐冲击强度的测定。涂膜耐冲击强度的测定也就是测定涂膜受到速度的负荷作用下的变形程度。涂膜的冲击强度是以重锤的重量与其落在涂膜金属样板上而不引起涂膜破坏之最大高度的乘积（N · m）来表示的。如图 8-11 所示，将涂膜金属样板平放在仪器下部的枕垫块上，涂膜朝上，将重锤提升到产品标准规定的高度，然后使重锤自由落下冲击样板，用四倍放大镜观察被冲击处涂膜有无裂纹、皱皮及剥落等现象。需注意的是试验时样板一定要紧贴枕垫块表面，以免冲击时样板跳动而影响测试结果。

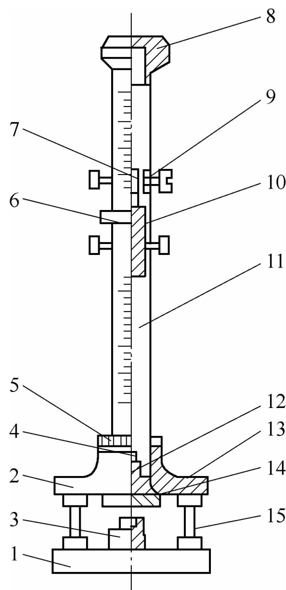



图 8-11　涂膜冲击器

1—底座　2—管座　3—枕垫块　4—冲杆　5—销管螺栓　6—定位标　7—挂钩　8—上盖　9—控制器组　10—重锤　11—带刻度管身　12—冲击垫块　13—螺钉　14—冲击块紧母　15—支柱

### 8.2.7　如何测定涂膜的柔韧性?

柔韧性测定器有一套粗细不同的钢制轴棒，作 180°弯曲，检查涂膜是否开裂，以不发生涂膜破坏的最小轴棒直径表示。轴棒直径分别是 1mm、2mm、3mm、4mm、5mm、10mm、15mm。此项测试结果综合体现了涂膜的弹性、塑性和附着力，并受测试时的变形时间与速度的影响。

另一类柔韧性测试器是锥形弯曲实验仪，可避免轴棒测试结果的不连续性。

### 8.2.8　如何用画圈法测定涂膜的附着力?

采用附着力测定仪，利用留声机唱针做针头，将样板涂膜朝上固定在仪器的试验平台上，用手顺时针匀速转动摇柄，通过动机构，针尖就在涂膜上匀速地画圈，所画出的圈依次重叠，得出类似圆滚线的图形。然后用手轻轻触摸，观察涂膜脱落的情况。画圈法附着力分为 7 个等级，如图 8-12 所示。第一部位内涂膜完好者，则涂膜附着力最好，为第 1 级；第二部位完好者则为第 2 级，依次类推。第 7 级的附着力最差，涂膜几乎全部脱落。

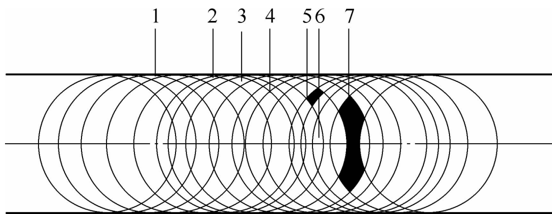



图 8-12　画圈法附着力的分级

### 8.2.9　如何测定涂膜的耐化学试剂性能？

测定涂膜耐化学试剂性时，将涂膜浸入规定的介质中，观察其侵蚀的程度。

1. 耐盐水性的测定

一般采用常温耐盐水法。在三块薄钢板（或按产品标准规定的底材）上制备涂膜。各种防腐蚀、防锈漆涂两道，涂第一道漆后，在恒温恒湿条件下干燥 48h，再涂第二道（背面亦涂漆，但不作考核依据）。用石蜡和松香 1∶1 的混合物或性能较好的自干漆封边。第二道漆在恒温恒湿条件下，干燥 7 天投入试验。各种底漆涂一道（背面亦涂漆，但不作考核依据），然后封边。在恒温恒湿条件下干燥 48h 后投入试验（烘干漆的干燥条件按产品标准规定）。

氯化钠用蒸馏水配成质量分数 3% 水溶液。将涂漆试板 2/3 的面积浸入温度为（25 ±1)℃的盐水溶液中，达到产品标准规定浸泡时间后取出试板，用自来水洗去盐迹，并用滤纸吸干水分。观察涂膜有无剥落、起泡、起皱、生锈、失光和变色等现象，合格与否按产品标准规定，以不少于两块试板符合产品标准规定为合格。

2. 耐酸碱性的测定

1）取普通低碳钢棒，用砂布彻底打磨后，再用 200 号油漆溶剂油或工业汽油洗涤，然后用绸布擦干。

2）将粘度为（20 ±1）s（涂 -4 粘度计）的试样倒入量筒中至 40mL，静置到试样中无气泡为止，用浸渍法将钢棒带孔的一端 2 ~3s 内垂直浸入试样中，取出，悬挂在物架上。

3）放置 24h 将钢棒倒转 180°，按上述方法浸入试样中，取出后再放置 7 天。

4）用杠杆千分尺测量涂膜厚度。

5）将试棒的 2/3 浸入温度为（25 ±1)℃产品标准所规定的介质中，并加盖。

6）浸入介质中的试棒每 24h 检查一次，每次检查试棒需用自来水冲洗，然后用滤纸将水珠吸干，观察涂膜有无失光、变色、斑点、小泡、脱落等现象，合格与否按产品标准规定，以两只试棒结果一致为准。

### 8.2.10　如何测定涂膜的耐磨性？

利用耐磨性试验测试涂膜的抗机械磨损能力，是涂膜内聚能与涂膜硬度的综合体现。生产现场采用喷砂法和落砂法模拟涂层的自然磨损来进行检测。实验室多采用橡胶磨轮，施加一定的载荷，以磨穿次数或在规定转速下的重量损失来表示。这类仪器称为 Taber 磨耗实验仪，国产 MH-1 型磨耗仪如图 8-13 所示。

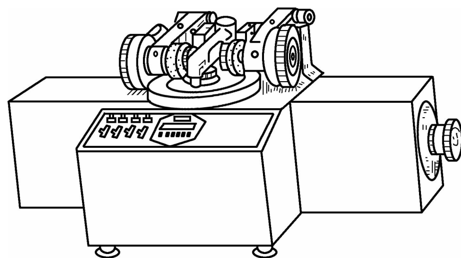


图 8-13　MH-1 型磨耗仪

### 8.2.11　如何测定涂膜的耐汽油性？

底板为 120mm × 50mm × （0.2 ~ 0.3）mm 的镀锌铁板，将试板的 2/3 浸入 23℃ ±2℃的 120 号溶剂汽油中至规定时间后取出，检查记录有无起皱、起泡、变软变色、剥落、失光等现象。

### 8.2.12　如何测定涂膜的耐洗刷性?

耐洗刷性是建筑涂料的一项重要性能，其他涂膜若有此规定也同样适用。试验采用 QFS 型涂料耐洗刷测定仪，试板为 430mm×150mm×3mm 的玻璃板，洗净后先涂一道铁红醇酸底漆，干后再涂待测的白色乳胶涂料（若待测涂料为深漆，则底漆料涂白色醇酸无光面漆），使乳胶涂料干膜厚度为（45±5）μm。试板固定在仪器试验槽内，将浸过质量分数 0.5% 肥皂水的鬃刷放在涂膜上反复洗刷，同时不断滴加质量分数 0.5% 肥皂水，直至试板中部 100mm 长区域内出现露底为止，记录洗刷次数，以此作为耐洗刷效果的测量标准。

### 8.2.13　如何测定电泳涂膜的干燥性?

工件在电泳涂装后，烘干并冷却至常温。用镊子夹起浸渍过甲基异丁基酮（也有报道用丙酮）的脱脂棉球在工件表面上进行擦拭，施加约 9.8N 的压力，往复擦拭距离 5cm 为一次，共 10 次。检查脱脂棉球有无粘色；被擦拭表面干燥后与未擦拭表面比较有无失光。以脱脂棉球未粘色、被擦拭表面无失光为合格。

### 8.2.14　如何测定涂膜的耐湿热性?

对于在湿热带地区使用的涂装产品，湿热试验是一种评价涂膜防护性能的方法。涂装试板垂直悬挂于湿热箱中，保持温度为（47±1)℃，相对湿度（96±2)%，试验过程中，试验板表面不得出现凝露，前两次每 48h 检查一次，以后每 72h 检查一次，每次检查后，应变换试板位置，直至规定时间结束试验，最后按表 8-5 所列标准评定等级。评级时，用 150mm×70mm×（0.5～2）mm 的有机玻璃板划成 100 等份，用于计量起泡面积。

当采取连续冷凝法时，水浴温度为（42±2)℃，试板下方 25mm 空间的气温为（37±2)℃，使涂层表面处于连续冷凝状态，以利于水分的渗入。潮湿试验设备已发展到干燥、浸渍、湿热组合的复合循环试验。

**表 8-5　涂膜湿热试验结果评定等级**

| 等级 | 破坏程度 |
| --- | --- |
| 一级 | 轻微变色，涂膜无起泡、生锈和脱落等现象 |
| 二级 | 明显变色，涂膜表面起微泡面积小于 50%，局部小泡面积在 4% 以下，中泡面积在 1% 以下，锈点直径在 0.5mm 以下，涂膜无脱落 |
| 三级 | 严重变色，涂膜表面起微泡面积超过 50%，小泡面积在 5% 以上，出现大泡，锈点面积在 2% 以上，涂膜出现脱落现象 |

注：1. 起泡面积计算，使用百分格板，其中百分之一的面积只要有泡，则算为 1% 的面积，以此类推。起泡等级如下：微泡，肉眼仅可看见；小泡，肉眼明显可见，直径在 0.5mm 以下；中泡，直径 0.6～1mm；大泡，直径在 1.1mm 以上。

2. 试板的四周边缘（包括封边在内）及孔周围 5mm 内不考核，对外来因素引起的破坏现象不作计算。

3. 涂膜破坏现象凡符合表中规定等级中的任何一条，即属该等级。

### 8. 2. 15　如何测定涂膜的耐水性？

底版为 120mm ×25mm ×（0. 2 ~0. 3） mm 的镀锌铁板，经涂膜封边，将试板的 2/3 浸入（23 ±2)℃的水（或沸水）中，至规定时间以后取出，检查记录有无起泡、起皱、失光、变色、脱落生锈等现象和恢复时间。

### 8. 2. 16　如何测定涂膜的耐化学性？

底材为 120mm ×50mm ×（0. 45 ~0. 55） mm 的薄钢板，厚 1 ~2mm 的铝板，及长 120mm、直径 1 ~12mm、一端为球面的低碳钢棒，板材涂装后应封边，钢棒用浸涂法涂装，干后直接做浸泡试验。

（1）耐酸碱　将涂装钢棒的 2/3 浸入规定浓度的酸、碱溶液中，温度为（25 ±1)℃，每 24h 取出检查一次。每次检查均应用自来水冲洗，然后用滤纸吸干，观察有无变色、起泡、失光、斑点、脱落现象。

（2）耐盐水　将试板的 2/3 浸入 3% NaCl 水溶液中，温度为（25 ±1)℃，至规定时间后取出，检查变色、失光、起泡、生锈、脱落情况。

# 第 9 章　涂装中常见涂料和涂膜弊病及防止措施

## 9.1　涂料和涂膜产生弊病的原因

### 9.1.1　涂膜产生病态的原因是什么?

从事涂装工作的施工人员或现场检验人员必须熟知各种涂膜弊病的产生及防止方法，才能避免在涂装中出现涂层质量缺陷或缺陷出现后及时采取补救措施，确保得到高质量的涂装产品，并尽可能延长涂膜的使用寿命。

涂料和涂膜的弊病是在涂料设计、生产制造、运输、贮存、涂装全过程中质量环节出现问题的综合体现。涂膜产生病态的原因如图 9-1 所示。

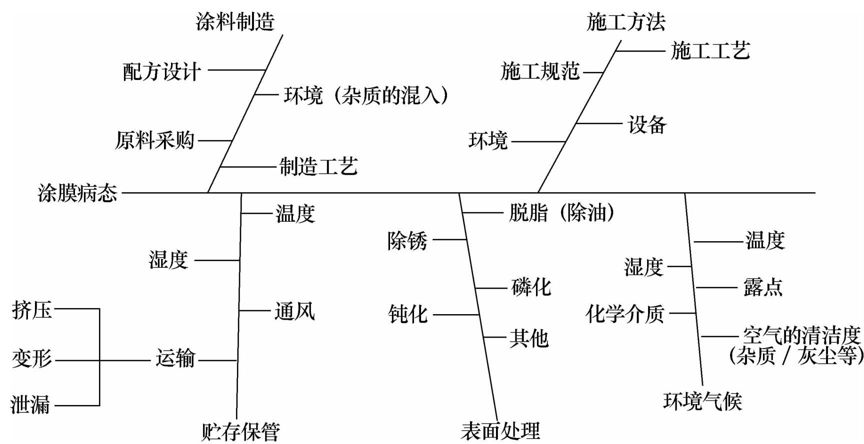



图 9-1　涂膜产生病态的原因

### 9.1.2　涂料和涂膜弊病如何分类?

根据使用涂料时各种病态出现的先后阶段，可将涂料和涂膜弊病分为三大类。

（1）涂装前的弊病　即涂料在生产、运输和贮存过程中产生的弊病，如沉淀与结块、变稠、发胀、发浑、原漆变色、结皮、起料、胖听、腐败等。

（2）涂装过程中出现的弊病　即施工过程中产生的弊病，如流挂、慢干、返粘、光泽不良、丰满度差、针孔、起粒、气泡、咬底、发花、浮色、渗色、露底、起皱、厚边、鱼眼、拉丝、不起花纹等。

（3）涂装后及使用过程中产生的弊病　如黄变、失光、粉化、开裂、锈蚀、长霉、沾污等。

## 9.2　涂料在运输、贮存过程中经常产生的弊病及防止措施

### 9.2.1　什么是涂料的沉淀与结块?

涂料在贮存过程中，其固体组分下沉至容器底部的现象，称为沉淀，也称沉底或沉降。如果沉淀现象比较严重，涂料中的颜料等颗粒沉淀成用搅拌方法也不易分散的致密块状物，称为结块。鉴别此弊病的方法是：涂料开桶后，用一搅拌棒插入涂料桶中，再将搅拌棒提起，若所粘附涂料颜色稠度均一，则无沉淀现象；若上稀下稠，底部有难以搅动的感觉，即出现沉淀；当底部沉淀硬结，搅拌棒无法插到桶底，无法搅拌均匀时，即出现结块。常见的易出现沉淀的涂料品种有防污漆、红丹漆、防锈漆（如云母氧化铁防锈漆）、低性能乳胶漆等。

### 9.2.2　涂料沉淀与结块的原因是什么?

1）涂料配方设计不当。溶剂选择不当，对涂料树脂的溶解力差；颜填料选择不当，颜料密度过大（如红丹、铬黄的密度大，易沉淀），填料使用过多或含水等。

2）颜填料研磨细度不够，颗粒太粗、分散不良而絮凝。

3）清漆类沉淀大多数是杂质、不溶性物质或铅催干剂等，在贮存中由于低温或受潮而析出。

4）加入的稀释剂太多，涂料粘度较低，涂料失去了正常的表面悬浮状态，颜填料产生沉淀。

5）颜料与树脂之间产生某种化学聚合反应或相互吸附，引起凝胶，产生沉淀。

6）贮存温度过高，某些颜料和树脂在漆中的悬浮性能超过 30℃即被破坏，使涂料粘度降低而沉淀结块，一般涂料的贮存温度在 15～25℃为宜。

7）贮存时间过久，超过了涂料的保质期，或密封不严，造成水气或其他杂质进入。色漆贮存时间过长，尤其是长时间静止放置，颜填料因密度大，在容器底部形成沉淀，最终形成硬结。

### 9.2.3　如何防止涂料的沉淀与结块?

1）在设计涂料配方时，颜填料尽量选用密度小的，有些颜料如红丹粉、铬黄、铁红、云母氧化铁、沉淀硫酸钡等密度都较大，少用或酌情用密度低的颜填料替代。另外考虑适合的颜基比，一般颜基比不要超过 2∶1。

2）在涂料生产时，采用适合的设备，尽量研磨分散均匀，达到规定的粘度和细度。

3）清漆类沉淀、结块可采用过滤或加热的方法处理。

4）稀释剂添加要适量。

5）选用的颜填料之间不能相互反应。如锌粉、铝粉、氧化锌等比较活泼，在贮存稳定性不佳的涂料中尽量不用或分罐包装。

6）在涂料中加入防沉剂，常用的防沉剂有硬脂酸系列、气相二氧化硅、改性膨润土、氢化蓖麻油等。

7）涂料贮存应放置在阴凉通风处，定期将涂料桶横放、倒置或摇动几次。涂料的

使用原则尽量考虑贮存期限，并遵循“先入库先使用”的原则。对于一些贮存期限低的涂料，如氯化橡胶、氯乙烯、聚氨酯类要特别小心。

8）对于已沉淀的，可搅拌均匀后再使用。出现结块的，应先把可流动部分倒出，然后将沉淀铲起，研碎后再把流动介质倒回原涂料桶中，充分混合。若仍有干结沉淀，则涂料只能报废或降级使用。

### 9.2.4　涂料变稠的原因是什么？

变稠是指涂料在贮存过程中，由于组分之间发生化学反应或稀释剂的损失而引起的稠度增高（不一定增加到不能使用的程度）、体积膨胀的现象。其表现为当开罐检验时，涂料粘度比出厂时明显增高，涂料变稠，难以搅动。

涂料变稠的原因有以下几点：

1）制备的树脂聚合度过高或酸值太大。

2）颜料选择不当或者含有水分或水溶性盐，与涂料中的成分发生反应；酸值高的树脂易与碱性颜料、不耐酸金属颜料（如普通银粉）等反应。

3）稀释剂选用不当，如沥青漆用 200 号溶剂汽油稀释会使沥青漆变稠。

4）漆料熬炼时间过长，用此漆料配制的清漆，往往在贮存过程中变稠。

5）聚氨酯类固化剂与空气中的潮气发生反应。

6）漆桶漏气、漏液，涂料中稀释剂挥发。

7）涂料贮存时间过久、温度过高或过低，在日光、温度影响下发生轻度反应。温度过高，会造成涂料中树脂的进一步聚合而析出，引起变稠；当温度过低时，水性乳胶漆往往变稠，甚至结冻成块。

8）运输和贮存时容器密封不严，有水分及潮气侵入或溶剂挥发等。

### 9.2.5　如何防止涂料变稠？

1）在设计配方时，注意树脂的酸值，少加碱性颜料（如硫酸钡、碳酸镁等）。

2）原料规格必须符合配方、工艺要求，生产时严格控制好漆料的聚合度和颜填料的水分、水溶性盐等指标，防止水分在生产和贮存过程中混入，如不在阴雨天和湿度大时生产和施工等。

3）改用松节油、二甲苯、重质苯、200 号煤焦溶剂稀释沥青漆等。每种涂料应选用适当的稀释剂。

4）经常检查涂料包装桶是否密封，防止聚氨酯固化剂与空气接触而发生反应，防止溶剂挥发。

5）对漏气漏液的涂料桶应更换，同时加入适量的溶剂，搅拌均匀后密封贮存。氨基烘漆贮存后变稠，可在溶剂中至少用质量分数为 25% 的丁醇调稀。

6）水性乳胶漆可移入暖房贮存 2～8 天，让其解冻复原。

7）尽快在允许贮存时间内用完涂料。贮存温度控制在 15～25℃之间时，防止温度过高或过低。对因气温低而结冻变稠的乳胶漆，将其移入温暖的室内 2～3 天，让其自然解冻；或将乳胶漆连同包装浸入热水中让它自行缓缓解冻。但解冻后的乳胶漆必须在短时间内用完，不宜再贮存起来。

### 9.2.6　什么是涂料的发胀？

涂料的粘度显著增加，直至变为厚浆状、胶体或硬块的现象称为发胀。在形态上又表现为假厚（假稠）、胶化和肝化等形式：①假厚，也称为假稠或触变。涂料外表看来稠厚，但一经机械搅拌却能流动自如，停止搅拌后又恢复原来的现象。②胶化，涂料从液态变为不能使用的固态或半固态的现象。细的颜料粒子结成块粒状，粘度增大，结成胶冻状。③肝化，涂料的稠度已经增加到必须经过量稀释后才能使用或仍难以使用的程度。涂料粘稠，无法搅动，呈硬胶状，形状类似肝块。

### 9.2.7　涂料发胀的原因是什么？

1）假厚现象主要出现在含颜料成分较高的涂料中，尤以滑石粉、氧化锌、红丹粉、锌钡白等最为明显。同时，一些防沉淀剂的加入，如气相二氧化硅、有机膨润土、进口助剂等的添加，也会使涂料具有假厚的特性。

2）所用颜料与树脂发生皂化反应，只是粘度迅速增大或涂料聚合过度。如酸值高的漆料和盐基性颜料在贮存过程中起皂化反应；金粉和铬黄等颜料易引起硝化纤维素涂料产生肝化；红丹、锌白、铅白与天然树脂相遇会产生肝化。

3）胶体的基料分散相大部分带正电荷，与带负电荷的颜料混合、相互吸引和中和，引起胶化和凝固。

4）容器不完全密闭或未装满桶，在贮存过程中部分溶剂挥发，会使漆液浓缩、增稠，空气中的氧也能促进胶化。

5）在涂料生产和贮存过程中，水分的混入对酸性漆料和碱性颜料的反应有促进作用，往往带来涂料的肝化或胶化现象；贮存温度过高，也会带来肝化、胶化等弊病。

### 9.2.8　如何防止涂料发胀？

涂料发胀的防止措施有以下几点：

1）假厚（假稠）现象，只要用木棒强力搅拌就可恢复，这也是形成厚膜涂料的一个方法。在涂装厚膜涂料时，不能擅自多加稀释剂，必须保证规定的膜厚。

2）对于出现胶化现象的涂料，如果是油料聚合过度，经搅拌即可重新分散，或加入少量有机酸（苯甲酸）可恢复正常。炭黑的 pH 值低，通常添加少量的三乙醇胺来克服。涂料轻微胶化时，可加入同种稀释剂搅拌即可。桐油胶化时，在短期内可加入质量分数为 3% 的甘油并加热。如果胶化严重，不可逆时，只能报废或调腻子用。

3）某些漆基应避免选用盐基性颜料，而以锌钡白、钛白、氧化锑等颜料替代；若清油与红丹粉等自行调配，当天配制当天使用。

4）装涂料的容器一定要密闭，开桶使用后要密封好，最好在 2～3 天内用完。对于已结皮胶化部分，可过滤除去，降级使用。

5）在涂料生产中，避免水分的混入。在湿度大的情况下，尽量不要生产涂料。对某些易吸水的颜填料要采用阳光下晾晒和加热烘干等方法除去水分，同时防止溶剂内水分的混入。

6）涂料贮存温度要控制在 15～25℃，不要放置在日光下、散热器或炉旁。

### 9.2.9　什么是涂料发浑？

清漆、清油或稀释剂由于不溶物析出而呈现云雾状不透明的现象叫做发浑，也称浑

浊、发混、发糊。其表现为在涂料开罐后，清漆、油性清漆和合成树脂清漆出现透明度差、浑浊、沉淀等。

### 9.2.10　涂料发浑的原因是什么？

1）稀释剂选择不当或用量过多，溶剂种类选择不当，对成膜物质的溶解度差，部分漆料不易溶解于清漆中，其贮存稳定性降低，易产生浑浊。

2）催干剂选择不当，特别是选用铅类催干剂，在稍有水分或低温时就会使清漆变浑浊。

3）涂料中含有水分。通过不同途径进入的水分（如稀释剂中含有水分），会促进催干剂析出造成浑浊。

4）生产时未能严格执行操作规范，如熟化时间不够，原料中含有杂质等。

5）贮存温度过高、过低或贮存时间过长。

6）性质不同的两种组分混用比例不当易造成浑浊。

### 9.2.11　如何防止涂料发浑？

1）原料规格必须符合配方、工艺要求，严格控制填料的含水率。涂料生产时，必须除去稀释剂中的水分，生产中严格按照工艺条件生产，加料顺序、反应温度与时间控制在规定的范围内。

2）选择适当的催干剂，尽量不用铅类催干剂。催干剂的用量要随油不饱和度的增加而减少；对醇酸树脂，一般可加入 0.04% ~0.06%（质量分数）的钴，0.3% ~0.5%（质量分数）的铅。

3）施工过程中，溶剂桶在贮存时要盖严，尽量不放在室外，防止水分侵入。避免在雨天和湿度大的气候条件下施工。清漆略有浑浊时，一般可照常使用。若发浑较严重，可用水浴加热（65℃）升温（切不可明火加热），不能完全盖严桶盖，还要防止水气的混入；也可将桶放平，使水分自然沉降到桶底，然后排除。使用漆刷时，要甩净漆刷中的水分。

4）可以加入一些松节油或芳烃溶剂来改善稀释剂，根据成膜物质的不同，选用合适的稀释剂。

5）抓好产品的包装管理和贮存条件的控制，在通风干燥处贮存，清漆贮存最好不低于 20℃，需将漆桶放置在木架上，使漆桶不接触地面，以防降温；防止日光直接照射，应隔绝火源，远离热源。

6）尽量避免不同种类清漆的混合使用。

7）若清漆浑浊严重，无法补救时，只能调腻子用，或降级甚至报废。

### 9.2.12　什么是涂料的变色？

涂料在贮存过程中，由于某些成分自身的化学或物理变化或者与容器发生化学反应而偏离其初始颜色的现象叫做变色。其表现为：在色漆桶打开时出现颜色不符，最常见的是绿色漆开桶后竟是蓝色的，也有的色漆开桶后是清漆，复色漆出现颜色悬浮等。

### 9.2.13　涂料变色的原因是什么？

1）涂料中的某些组分之间相互反应。如金粉、铝粉和清漆会发生作用，失去金属光泽，色彩变绿、变暗。

2）色漆中的颜料发生化学反应。如含有铁蓝的蓝漆或草绿色漆，由于容器内空气不足，铁蓝起还原作用而褪色。铁蓝和钛白、氧化锌、锌钡白等制成的涂料，在贮存过程中发生还原作用等。

3）涂料中的组分与包装铁桶发生反应。如虫胶漆在镀锌铁桶中颜色会变深，贮存越久，颜色越深，且发黑；硝基漆在铁桶中会变褐色等；某些溶剂（如酯类）极易水解，与铁容器发生反应，使颜色变深，特别是白色漆最为明显。

4）设计涂料配方时，各种树脂与颜填料的相容性不好，出现浮色现象。

5）复色漆中颜料密度不同，密度大的颜料下沉，密度小的浮在上面。如用铬黄和铁蓝配成的绿色漆，铬黄容易下沉而铁蓝上浮呈蓝色。

### 9.2.14　如何防止涂料变色？

1）在涂料生产过程中，避免水气的混入，并适当延长分散研磨时间。同时加入少量的润湿分散剂，防止浮色现象，加入量一般为 0.2% ~1%（质量分数），视具体颜料用量和品种而定。

2）用铝粉或铜粉做颜料的涂料，由于油或漆料中的游离酸对铝粉、铜粉起腐蚀作用，使涂料变黑发绿。可选用中性漆料，并选在生产的最后阶段加入铝粉、铜粉，但最好是把金属颜料与漆料分罐包装，使用时随时调配。

3）复色漆颜色不一致时，经过充分搅拌，与空气接触后，颜色仍能恢复一致，不属于真正的变色。

4）包装铁皮桶要选择镀锌或镀锡的，有些特殊品种最好用塑料、瓷罐或玻璃瓶等包装。如虫胶清漆和硝基清漆要用非金属容器溶解和贮存。

### 9.2.15　什么是涂料的结皮？

涂料在容器中，由于氧化聚合作用，在液面上形成漆膜的现象叫做结皮。其表现为：开罐后，涂料表面覆盖一层粘稠胶皮类物质，下面漆液仍然均匀。

### 9.2.16　涂料结皮的原因是什么？

1）涂料中催干剂加入过多，涂料含有过度聚合的桐油较多，色漆过稠或颜填料含量较高。

2）装漆容器密封不好或未装满，使漆面与空气有较长时间接触。

3）涂装过程中，漆料长时间暴露在空气中，或使用后密封不严。

4）温度越高，贮存时间越长，结皮现象越严重。

### 9.2.17　如何防止涂料结皮？

1）调整涂料生产配方，生产时可将促进表面干燥的催干剂暂时少加或不加入涂料中，在施工前再按比例调入。在生产配方中，可加入 0.1% ~0.3%（质量分数）的防结皮剂，如邻甲氧基酚、苯酚、邻苯二酚、松节油、丁醇、环己酮肟等。

2）在涂料装桶时尽量装得满一些，并在上面加一些稀释剂（如松节油等），减少存留的空气，但也不能装得太满，防止随着天气变热而膨胀。若条件许可，可在涂料装桶后，抽掉留下的部分空气，然后灌入一些保护性气体（如氮气）。

3）涂料尽量在短时间内用完。剩余的少量涂料，不要用原桶盛放，应用可密闭的小号容器盛放。可在漆液面上放一层牛皮纸或添加一层挥发较慢的溶剂（如松节油），

把盖子盖紧达到密封要求。

4）尽量缩短涂料周转周期，不要长时间贮存，贮存处应通风，避免高温。

5）对已经形成结皮的涂料，在小心剔除结皮、搅拌和过滤后，仍可继续使用。

### 9.2.18 什么是涂料的起料?

色漆在贮存过程中出现的粗颗粒（即少许结皮、凝胶、凝聚体或外来粗粒）现象叫做起料，也称有粗粒。其表现为：涂料开罐后，发现漆粒子变粗，在涂料溶液中形成颗粒状突起。此弊病常常出现在氯化橡胶厚浆涂料、沥青涂料中，不仅影响涂膜外观，还会在喷涂作业中堵塞喷嘴。

### 9.2.19 涂料起料的原因是什么?

1）生产涂料时，厚浆漆料温度超过 40℃，易使颜料颗粒流变析出。

2）涂料生产过程控制不严格，颜料过粗，容器不干净及细碎漆皮带入均可导致。

3）漆料在生产或贮存过程中混入水气，引起颜料颗粒集结。

4）涂料贮存过程中，某些树脂和颜料之间发生反应使颜料颗粒凝结析出。

### 9.2.20 如何防止涂料的起料?

1）厚浆涂料在 35 ~40℃时，需冷却后使用，仍有粗粒则需返厂研磨。

2）延长研磨时间和过程，加强涂料细度检验，严格控制颜填料的颗粒细度。

3）从原材料上严格把关，防止加入含水分的溶剂，同时不要在湿度大的天气生产。颜填料必须干燥，应当特别注意容易吸潮的硫酸钡等填料，通常当手摸成团而不能恢复为松散粉状的，即表明颜填料含水，需烘干或在阳光下晒干。

4）在涂料中适当加入阻聚剂，防止在过高或过低温度条件下贮存时聚合变粗。

5）起料现象轻微的涂料，可充分搅拌后用 80 目以上筛子过滤，然后使用。起料现象严重的需返厂重新研磨。

### 9.2.21 什么是涂料的胖听?

涂料在贮存过程中，由于桶内溶剂的气化导致容器变形的现象叫做胖听。其表现为：涂料桶严重变形，开罐后有气体喷出，主要表现在铝粉漆、锌粉漆和某些聚氨酯涂料上。严重时涂料罐会发生自燃、起火、爆裂，极为危险。

### 9.2.22 涂料胖听产生的原因是什么?

1）涂料中有游离酸及水存在，贮存时间过久，发生化学反应，产生气体。

2）聚氨酯类涂料含有铝粉、锌粉，铝粉与涂料中的游离酸反应产生氢气，使涂料桶变形。

3）涂料贮存温度过高，致使桶内温度过高，溶剂逐渐变成气态，使密封桶缓慢膨胀。

### 9.2.23 如何防止涂料的胖听?

1）严格控制树脂的酸值，避免水气的混入。

2）对铝粉或锌粉涂料，应分罐包装，使用时随用随配。对聚氨酯涂料可加入 1% ~2%（质量分数）的二丁基月桂酸锡等助剂。

3）严格控制贮存温度。若发现“胖听”现象，应将漆桶移到远离涂料存放点的阴凉通风处，并用凉水冷却，远离火源。开罐时可先捅一小孔，将气体放掉。如出现大量

白色烟雾，应戴防毒面具。开罐后，将涂料搅拌均匀，若无肝化、胶化现象，一般可继续使用。

### 9.2.24　什么是涂料腐败？

涂料在生产或贮运中感染上微生物，或涂料生产中杀菌防腐剂剂量不够，过早消耗完全，常会致使涂料腐败变质。涂料被微生物（细菌、真菌、酵母菌）感染的途径有以下几种：原材料、水、管道、贮存罐、生产设备与容器。

### 9.2.25　涂料腐败产生的原因是什么？

1）涂料配方原因。涂料采用了容易感染微生物的配方，例如多纤维素等营养基的配方。

2）涂料防腐剂用量不够或化学稳定性不足。

3）原材料、水和其他成分受到感染。

4）被污染的原材料再次循环使用。

5）漆膜的结皮积聚。

6）设备管道被污染。

7）生产车间的卫生环境恶劣，消毒处理不合格。

8）物料在贮存罐、混合设备中滞留时间过长。

9）冷凝水积聚在贮存罐、混合缸内。

### 9.2.26　如何防止涂料的腐败？

1）调整配方，不用或少用容易感染微生物的配方，不用或少用不抗霉菌的纤维素增稠剂，选用缔合型和碱溶胀增稠剂来增稠。

2）选择稳定性好的涂料防腐剂，并确保用量足够。

3）生产前应确保原材料、水和其他成分不受感染。

4）被污染的原材料应经过处理后再循环使用。

5）涂膜的结皮积聚应参照“结皮”的处理方法处理。

6）生产前对设备、管道进行净化处理。

7）确保生产车间的卫生环境达标，不对生产造成负面影响，消毒处理应彻底。

8）物料应及时使用，避免在贮存罐、混合设备中滞留时间过长。

9）冷凝水要及时排除。

## 9.3　一般涂装过程中产生的涂膜弊病及防止措施

### 9.3.1　什么是流挂？

流挂是指涂料施涂于垂直面上时，部分涂料在重力的作用下有流淌的现象，轻则形成泪痕，重则形成挂幕。流挂多出现在垂直面、棱角处、合页连接处及水平面与垂直面交接的边缘线处。

### 9.3.2　流挂产生的原因是什么？

1）涂料配方不合适，稀释剂用量过多或挥发太慢，涂料粘度过低，颜填料中含有密度较大的颜料（如硫酸钡、红丹等），分散不良的色漆、研磨不均匀等均可导致抗流

挂性差。

2）涂装前未处理好，物面含有水或油，涂料对底材的附着力不佳，旧涂层未经处理就直接涂布新漆等，都会造成流挂。

3）涂件表面凸凹不平，几何形状复杂。在边缘棱角处、合页连接处，由于涂装后没有及时将这些不明显部位上的残余漆液收刷干净，造成剩余涂料流到漆面上形成泪状流挂。

4）施涂不当。刷涂时，手工未涂刷均匀；浸涂时，涂液粘度过大，涂层厚产生流挂，有沟槽零件易形成泪状流挂；喷涂时，喷枪的喷嘴口径过大，压力不均匀或压力过小，距离物面太近，喷枪移动速率过慢，导致重叠喷涂，一次喷涂漆膜太厚等。

5）层间间隔时间太短或多次重复喷涂。

6）施工场所气温过低，涂料实干较慢，或在不通风环境中施工，溶剂挥发过慢或无法挥发。对烘烤型涂料，过高温度烘烤时，涂料粘度下降也易引起流挂。

### 9.3.3 如何防止流挂？

1）充分考虑涂料的防流挂特性，选用挥发速率适中的稀释剂和其他原料，严格控制稀释比，也可在涂料配方中加入防流挂助剂。

2）涂装涂料前，应检测涂料的防流挂性能。出现流挂现象时，在流挂未干时，可用刷子或手指轻轻地将流痕抹平；如果流挂已经干燥，可用小刀将流痕铲平，或用砂纸将痕道打磨平整再进行涂装。

3）做好各种基材的预处理工作，防止油水的附着，提高涂层的附着力。对于旧涂层可先打磨、粗化，将涂层打毛后，涂装新漆。

4）对凸凹表面进行涂装，在漆液未干时，可选择刷毛长、软硬适中的漆刷，将多余的漆液刷去，防止涂料的积存。

5）注重施涂技巧，控制涂膜的厚度。涂膜的厚度在 40μm 之内较为合适；控制好喷枪与工件的距离，大型工件应为 250 ~ 300mm，小型工件应为 150 ~ 200mm；对操作工进行技能培训并进行严格考核。

6）适当换气，保持通风，气温应在 10 ~ 25℃。冬天施工时，适当减少稀料用量，提高固化剂用量，适当延长层间间隔时间。

7）对烘干漆可采用“湿碰湿”的涂装方法，在“湿碰湿”施工时，两道喷涂间隔应有足够的闪干时间。薄涂的闪干时间为 3 ~ 5min，随着喷涂次数和湿膜总厚度的增加，闪干时间要是适当延长至 5 ~ 8min。

### 9.3.4 什么是慢干和不干？

漆料涂刷后，经长时间干燥（自干或烘干）后的漆膜表面仍滞留粘性的现象叫做慢干或不干。其表现为：在涂漆完成后，漆膜的干燥时间超过了规定的标准，或漆膜干燥数天后，用手指触摸仍有粘指现象。

### 9.3.5 慢干和不干产生的原因是什么？

1）涂料配方中采用了挥发性差的稀释剂或涂料中混入油分。

2）漆层一次涂施过厚或未干重涂，造成整体涂层干燥慢。

3）双组分涂料少加或未加固化剂。

4）施工及待干燥过程中环境温度高、湿度低、通风不良。

5）基材表面处理不合格，表面残留油污或涂装底漆等；在旧漆膜上涂装新漆时，因旧漆膜上附着大气污染物（硫化物、氮化物等），影响涂料的正常干燥，此种情况在住宅的门窗上尤为突出。

6）底漆未干透就涂装面漆。

7）基底水分含量高。

8）烘干型涂料烘干不足。

9）预涂底漆放置时间长也会导致慢干。

### 9.3.6　如何防止慢干和不干？

1）在涂料生产和施工中，采用挥发速率适中的稀释剂，对于慢干涂料可适当采用挥发速率较快的溶剂，添加适量的催干剂，但催干剂加入不能过量，否则也会引起慢干。

2）漆膜不能一次涂装过厚，底漆和其他涂层一定要实干后，再涂装下一道涂料。

3）施工时，双组分涂料要按照配比添加固化剂。添加时要搅拌均匀，同时需要至少 15min 至半小时的活化期。在低温情况下，可酌情多加入 5% ~15%（质量分数）的固化剂，但不能超量。

4）施工时，注意环境温度不能太低，湿度不能太高，当气温低于 10℃时，应采用冬季固化型涂料或单组分溶剂挥发型涂料，并适当延长涂装时间间隔。施工后保持良好通风，避免潮湿环境。

5）涂漆前，应将基材进行良好的表面预处理，除去油污、水气、锈蚀，并使基材具有一定的表面粗糙度；在旧漆膜上涂漆时，应打磨并清洁旧漆膜。

6）面漆涂装前应等待底漆彻底干燥。

7）含水量高的底材（如木材）必须干燥，含水量不超过 15%，必要时可进行低温烘干。有松脂的在涂漆前应用虫胶清漆做封闭处理。

8）烘干型涂料要选择适宜的烘干温度。

9）对于高氯乙烯、氯化橡胶等单组分挥发型涂料，实干时漆膜仍较软，需要 2 个星期或更长时间才能完全硬化，形成坚硬涂膜，这是正常现象，不属于涂膜弊病。

### 9.3.7　什么是返粘和回粘？

返粘、回粘是指漆膜干燥时不粘手，经过较长时间后又软化、发粘的现象。返粘、回粘与慢干、不干这两种病态几乎是同时出现的。

### 9.3.8　返粘和回粘产生的原因是什么？

1）慢干溶剂添加过多，溶剂无法完全挥发出来。

2）反应型涂料的硬化剂添加量不足。

3）施工时，涂膜过厚或多次重涂，底层溶剂还没有充分挥发出来，就涂装了下一道涂料，影响涂膜的干燥。

4）施工时空气湿度较高、天气较冷等，涂膜干燥后受到寒冷、雨露、烟雾、酸、碱或潮气的侵蚀。

5）涂料质量问题。

6）在特殊品种基材上的涂装，如水泥、混凝土壁的碱性使涂膜皂化而软化；木材潮湿，温度低时涂装，当气温升高后就会发生返粘。

7）所有导致慢干的因素，如果使涂膜干燥时间过长，也必定导致返粘。

### 9.3.9 如何防止返粘和回粘？

1）选择适当的溶剂稀释剂，同时应控制用量，避免过量添加。

2）硬化剂添加比例应正确，不可以太少。

3）涂膜不能涂装过厚或多次重涂，通过试验测试涂膜涂布多少次，待干时间需多久方可重涂，一定要等上一道涂层实干后，再涂装下一道涂料。

4）控制施工和待干时环境的温度和湿度，并保持环境空气流通。

5）选择质量可靠的涂料。

6）水泥、混凝土要涂防止碱质的密封层，木材要适当烘干，降低含水量。

7）严格按照施工说明书上的最短涂装间隔施工，防止底漆中的溶剂未完全挥发带来的返粘现象；对于长期返粘和不干的涂层，应用适当的脱漆剂和溶剂将涂层全部除去，或用铲刀除去涂层，然后重新涂装。

### 9.3.10 什么是光泽不良？

有光涂层干燥后没有达到应有的光泽或涂装后不久涂层出现光泽下降、雾状朦胧的现象叫做光泽不良。出现局部的光泽不足和云雾状朦胧的现象称为光泽不匀。

### 9.3.11 光泽不良产生的原因是什么？

1）固化剂、稀料质量差、不配套或比例不恰当，分散不好，成膜性能不好。如树脂用量不足或混溶性差，涂料细度差，颜填料分散不良，色漆的颜料体积浓度高等。

2）颜料贮存过程中产生严重絮凝，涂料中含有水分、杂物等。

3）加入的稀释剂过量，冲淡了原有光漆的颜色。

4）使用前，涂料没有充分搅拌，上半桶颜料少、漆料多，涂后有光；下半桶颜料多、漆料少，涂后无光。

5）底材处理不合格，基底过于疏松，对涂料的吸收量大，且不均匀；表面粗糙，留有油污、水分、蜡质等杂质。

6）基底与涂料产生反应，如新的水泥墙面呈碱性，与油性涂料皂化而失光。

7）面漆或清漆过薄，涂装面不平整等引起。

8）施工环境影响，在寒冷、湿度大的气候下施工，使水气凝结在漆膜表面，漆膜无光；施工场所灰尘太多或在干燥过程中遇到风、雨、煤烟等，漆膜也容易出现半光或无光，特别是桐油涂膜，如遇风雨，特别容易出现此弊病。

9）底漆或腻子层未干透就涂装面漆，面漆未干透就抛光，也会造成失光。

10）溶剂或稀释剂未挥发到一定程度就过早烘烤，烘干时换气不充分或烘干时温度过高。

### 9.3.12 如何防止光泽不良？

1）固化剂、稀料应配套，比例应恰当，涂料中的树脂基料不仅可保证光泽，还可以提高防腐保护性能；采用两种或两种以上树脂时树脂间的相容性要好；涂料要达到一定的细度，研磨得越细，涂料的光泽越高。

2）涂料生产过程中，防止水分和灰尘的混入，贮存过程中防止絮凝的发生。

3）稀释剂不能加入过多，一般在涂料用量的5%（质量分数）以下，否则影响光泽。

4）涂料在施工前要充分搅拌均匀并过滤。

5）底材处理要合格，过于疏松的要进行封闭处理，表面粗糙的应打磨平滑，油污、水分、蜡质等杂质要彻底清理干净。

6）涂装之前，应考虑基底与涂料可能的反应，并作适当处理。

7）面漆不可过稀，并可适当增加面漆的厚度；涂装时应有一定的顺序，喷涂或刷涂需均匀且厚薄一致。

8）避免在寒冷、潮湿的环境中涂装，防止水分混入涂膜；排除施工环境中的煤烟等有害气体。

9）要有一定的涂装间隔，底漆和腻子层应干透再涂装面漆，面漆应干透后，再抛光打蜡。

10）严格遵守烘干工艺要求，烘干室换气要适当，可在溶剂中适当加入防潮剂。

11）对于出现光泽不良的涂层，在用砂纸将表面处理平整后，用软布沾适当稀释剂擦拭后可重新涂装。

### 9.3.13　什么是金属闪光色不匀?

含有铝粉及珠光颜料的涂料，在施涂后出现铝粉或珠光颜料分布不匀，不能形成均匀的定向排列，导致涂膜外观颜色不匀的现象。

### 9.3.14　金属闪光色不匀产生的原因是什么?

1）铝粉和珠光颜料的质量差，或配方不当，涂料铝粉含量太低，遮盖力差。

2）涂料的定膜能力差。

3）溶剂挥发慢，涂料的表干时间太长。

4）涂料粘度过高或过低。

5）金属底色漆喷得太厚，且厚薄不均匀。

6）金属底色漆喷得太薄或者漏喷，显露底色。

7）喷涂时，空气压力太低，喷枪的雾化差，喷涂操作不熟练；或空气压力太高，使片状铝粉变形。

8）喷涂环境温度低。

9）涂底色与罩光清漆采用“湿碰湿”工艺时，层晾干时间太短。

### 9.3.15　如何防止金属闪光色不匀?

1）选用的金属铝粉必须是非浮型的，且经过了表面处理，铝粉不易聚集结团或叠加；贮存期超过半年或密封不严的铝粉，要经过检验后再使用；铝粉的颗粒大小也要经试验后搭配；珠光颜料的粒度分布也会影响闪光效应。

2）涂料中所用成膜助剂要保证喷涂后涂膜能迅速流平并干燥定形，当喷涂罩光清漆时不会被清漆中的强溶剂破坏。

3）选择合适溶剂，表干时间不宜过长。

4）涂料粘度要调配适中。

5）控制涂膜厚度均匀一致，也是保证涂膜金属闪光效应的重要条件之一。

6）掌握喷涂技术，使用专用喷枪，调整喷涂压力，提高喷涂操作的熟练程度。

7）喷涂环境温度调节适宜。

8）“湿碰湿”工艺的时间间隔应充分。

### 9.3.16 什么是丰满度差？

涂膜丰满度差是指涂料施工后，虽然涂膜涂得很厚，但外表看上去仍然觉得很薄而且显得干瘪的现象。

### 9.3.17 丰满度差产生的原因是什么？

1）使用高聚合度的漆基制的涂料，其本身丰满度差。

2）涂料粘度低或涂料中颜料含量低。

3）涂膜太薄（涂刷次数不够或漆中稀料加得太多）。

4）底材处理不好，被涂面不平滑且吸收涂料。

### 9.3.18 如何防止丰满度差？

1）选用丰满度高的涂料。

2）增加涂料中的颜料含量，提高涂料粘度，在涂料中加入适量流平助剂，使涂料施工时涂膜容易起厚。

3）少用挥发快的溶剂，适量用溶解力强的高沸点溶剂。

4）涂膜厚度应符合工艺要求，适量增加刷涂次数或减少稀料加入。

5）用砂纸打磨被涂物表面以降低被涂面的表面粗糙度值，或涂底层、中层涂层，以防止底材对面层涂料的吸收。

6）若出现丰满度差的现象，可请涂料生产厂在原料中加入色浆或与固体树脂拼用后再喷涂。

### 9.3.19 什么是鲜映性不良？

涂层的鲜映性（平滑性、光泽）不良就是指涂层的装饰性差。例如目前高级轿车的高装饰性涂层的鲜映性应为0.8~1.0（PGD 值），装饰性稍低一点应在0.6~0.7，普通型轿车、轻型货车和装饰性要求较高的中型货车涂层鲜映性应在0.5左右，若低于上述数值，则称为鲜映性不良。

### 9.3.20 鲜映性不良产生的原因是什么？

1）选用涂料的流平性、光泽度、细度未达标。

2）基材表面平整度差。

3）喷涂时，喷涂工具性能不良，施工粘度及溶剂使用不当，涂料雾化不良，涂膜会出现桔皮等弊病。

4）涂膜厚度不足导致丰满度差。

5）涂装环境差，涂层表面产生颗粒。

### 9.3.21 如何防止鲜映性不良？

1）选用流平性好、细度达标、光泽优良的涂料。

2）加强预处理，基材表面平整度应达标，提高加工打磨精度，防止贮运过程中的磕碰伤。

3）选用雾化性能好的喷涂工具和喷涂方法，涂料施工粘度应适当，使之达到最佳雾化。

4）装饰性涂膜一般多采用多层涂装体系增加涂膜厚度，以提高涂膜的丰满度和平滑性。

5）改善涂装环境，特别是高装饰性涂料的涂装应在无尘环境中进行，涂装温度适宜且稳定，涂膜干燥环境也应无尘。

### 9.3.22　什么是色差？

色差是指刚涂装完的漆膜的色相、明度、彩度与标准色板有差异，或在补涂漆时与原漆色有差异的现象。

### 9.3.23　色差产生的原因是什么？

1）所用涂料各批之间有较大的色差。

2）施工中稀释过度，造成涂膜不均匀，产生色差。

3）因涂料浮色引起的色差或因涂料沉淀引起的色差。

4）在更换颜色时，喷涂工具输漆管路未清洗干净所致的交叉污染。

5）被涂物表面原漆已失光、褪色，再对局部修补喷涂造成的斑痕。

6）底材不平整，表面粗糙度不同，会对所施涂料吸收不均匀，造成局部色差。

7）干燥规范不一致，尤其是在烘干的场合。

8）使用前搅拌不均匀。

9）漆膜厚度与标准比偏薄或偏厚。

10）检测仪器不同，检测标准不一致。

11）色卡使用时间太长，标准版颜色迁移。

### 9.3.24　如何防止色差？

1）加强涂料进厂检验，同颜色的面漆应控制在一家生产商。

2）涂料稀释应适当，不宜过稀。

3）防止涂料的浮色和沉淀。

4）涂装前应彻底清洁工具，特别是换色时输漆管路一定要洗净，避免混色。

5）力争少补漆，如需补漆则应整个部件（或有明确分界线的表面）补漆，旧设备（使用超过三年的装备）进行修补时，尽可能采用整车修补。

6）涂装前底材要处理合格，平整且表面粗糙度一致。

7）烘干规范（烘干时间、温度）应严格控制在工艺规定内，且烘干规范应一致。

8）涂料使用前应充分搅拌均匀，特别是复色漆，应待桶内颜色搅均匀后方可使用。

9）漆膜厚度要符合工艺规范要求。

10）不同部位检测仪器应一致。

11）色卡要及时更新，标准版管理要规范。

### 9.3.25　什么是针孔？

针孔形貌为一种在漆膜中存在着的类似用针刺成的细孔，孔径一般为 0.1～1mm。其表现为：涂膜干燥过程中或形成漆膜后，表面出现圆形小圈，状如针刺的小孔，较大

的像麻点。针孔多出现在平面上，垂直面很少产生。

### 9.3.26 针孔产生的原因是什么？

1）涂料的配方及原料的原因。清漆不良，含有杂质；溶剂的选择和混合比例不当，导致挥发过快；颜填料分散不良。

2）生产环境控制不佳，在生产中夹带空气气泡和水气。

3）被涂物处理不当，表面有油、水或其他异物等，底材粗糙有气孔或含水率高，腻子和底漆未干透。

4）长时间激烈搅拌，涂料中混入空气，形成无数气泡。

5）涂膜一次涂装得过厚，溶剂无法及时挥发被包裹在涂层中，经一段时间后挥发逸出时形成针孔。

6）喷涂时压力过高，距离过远，破坏了湿漆膜的溶剂平衡。刷涂时用力过大，辊涂时转速太快等，使产生的气泡无法逸出。

7）施工环境湿度过高，或烘烤型漆闪干不充分，烘烤升温太快。

8）贮存温度过低，使涂料各组分的互溶性变差，涂料粘度上升或局部析出，易引起颗粒或针孔弊病（特别是沥青涂料）。

9）清漆或颜料含量较低的磁漆，用浸涂、喷涂或辊涂法施工时容易出现针孔。

### 9.3.27 如何防止针孔？

1）对于粘度较大的涂料来说，采用合适的分散和混合工艺，加入适当品种的消泡剂和流平剂十分重要。

2）在生产过程中，防止空气和水分的混入，生产设备应置于密闭空间内，调节搅拌速度。

3）涂料不要长时间剧烈搅拌，搅拌后等气泡基本消失再进行涂装。双组分涂料要有一定的活化期，一般在混合15min后再涂装。

4）改善涂装环境，湿度不宜过大（一般相对湿度不大于85%），保证被涂物与施工机具的清洁度。

5）喷涂时，油水分离器需正常且压力不能过高，压缩空气需经过滤。刷涂时，涂料不能蘸过多，要纵横涂刷，有气泡时需用刷子挤出气泡。辊涂时，速率不能过快，有气泡时需来回滚动，将混入夹带的气泡赶出。

6）底材表面要无油、无水，且除尘并用腻子刮光滑。涂装要具有一定的时间间隔，在底层涂料实干后，再进行下道涂料的施工。

7）在较高温度下施工时，可加入挥发速率较慢的溶剂，降低溶剂的急剧挥发。对烘干型漆粘度要适中，涂漆后闪干15min，烘烤时先以低温预热，按规定控制温度和时间，让溶剂能正常挥发。

8）对已经形成针孔的漆膜表面，可补涂配套涂料。对沥青漆的针孔，可用喷灯微温漆膜表面。对表面不平整的状况，可磨平后再涂漆。

### 9.3.28 什么是起粒？

起粒也叫颗粒、粗粒、表面粗糙，是指漆膜干燥后，其整个或局部表面分布着不规则形状的凸起颗粒的现象。其表现为：在干漆膜上产生颗粒状突起物，分布在整个或局

部漆膜表面，通常大的称为“疙瘩”，小的称“痱子”。起粒不仅影响漆膜外观、光泽，而且容易使漆膜损坏，形成局部腐蚀。

### 9.3.29　起粒产生的原因是什么?

1）生产时颜填料细度不达标；在涂料贮存过程中产生凝胶，而未经过滤等处理；涂料结皮，经摇动碎裂成碎片后混入涂料中。

2）涂料兑稀后未进行过滤。

3）涂装前，采用的稀释剂与涂料不匹配，兑稀时因不溶而析出，产生树脂颗粒。

4）作业环境灰尘多，被涂物表面不清洁，操作者的工作服、手套不清洁；漆刷上的颗粒或沙子留在漆膜上；喷枪不清洁，用喷过油性漆的喷枪喷双组分涂料（如环氧等），溶剂将漆皮咬起形成残渣混入涂料中；在风沙天气施工，有烟尘、碎屑、风沙落在未干燥的涂膜表面；车间布置不合理等。

5）喷涂时，喷枪与被涂物面的距离过远，使喷雾落在物面上之前涂料中的溶剂已经挥发，造成漆液失去了流动性而形成颗粒；喷涂时喷嘴口径小、压力大，也会造成粗颗粒的喷出；刚喷涂完的物件很快送入烘道或烘箱，也易产生“痱子”。

6）涂料变质，如漆基析出或返粗，颜料分散不佳或产生凝聚，有机颜料析出，闪光色漆的漆基中铝粉分散不良等。

### 9.3.30　如何防止起粒?

1）生产中严格控制原材料的颗粒度，防止出现贮存过程中的弊病，过滤去除漆皮、碎屑、凝胶等杂质。

2）涂料兑稀后应进行过滤，底漆采用 120 目丝网过滤，面漆用 180 目丝网过滤。

3）采用与涂料相容性好的稀释剂，防止树脂等不溶析出。

4）保持施工环境的清洁，在施工前打扫场地，工件、涂装工具在涂装前和涂装完成后要用适当的稀释剂清洗干净，避免在大风气候下施工；车间布局要合理，打磨工段应远离喷涂作业区，车间地面应刷涂地漆并经常清洗。

5）喷涂时要适当调整操作参数，喷距不要超过 30cm，涂料应充分搅拌均匀，并在供漆管上安装过滤器；物件在烘烤前应有一定的闪干流平时间，喷涂环境温度较高，在烘烤时应注意要缓慢升温，避免升温过急。另外特别注意在更换涂料品种前，应对喷枪和管道及装涂料容器进行清洗。

6）起粒严重影响外观，出现起粒后，一般对于少数微细颗粒，采用 1500 号水砂纸打磨修饰；颗粒多或大时，用 800 号水砂纸打磨后重新喷涂。如果是硝基面漆，可用棉纱团蘸取稀释的硝基涂料擦涂几次，再用砂蜡、光蜡抛光处理。

### 9.3.31　什么是起霜?

起霜是指漆膜表面呈现许多烟雾状细颗粒的现象，也称为起雾。其表现为：在施工成膜 1 ~ 2 天或数星期后，整个或局部漆膜上罩上一层类似梅子成熟时的雾状细颗粒，常在清漆施工中出现。

### 9.3.32　起霜产生的原因是什么?

1）催干剂品种和用量对起霜有很大影响，短油清漆、醇酸漆、纯酚醛桐油清漆中加入钴类催干剂易起霜。

2）双组分涂料中，固化剂加入过多易起霜。如脂肪胺固化环氧树脂，尤其是环氧沥青涂料更为敏感。

3）溶剂挥发过快，而环境湿度较大时，漆膜就会吸收水分，形成起霜。

4）涂料中的油、蜡或增塑剂迁移到涂膜表面，也可能是未交联的低相对分子质量的树脂组分向涂膜表面迁移的结果。

5）施工时，受烟气、油气、化学气体、灰尘和潮气的影响，潮气是引起起霜的主要因素。具有抗水性的漆膜会把从大气中吸收的水分积聚在表面形成起雾；清漆的抗水性越强，起雾的倾向越大。

6）施工时温度变化过大，或室内涂装时空气流通不足。

### 9.3.33　如何防止起霜？

1）尽量避免使用易引起起霜的钴类催干剂，因此铅、钙、钴类催干剂的比例要恰当，一般采用铅: 钙: 钴为 10: 5: 1 的混合催干剂或其他新型稀土类催干剂。

2）减少固化剂用量，搅拌均匀并应有足够的活化期。对烘干漆要先晾干 15min 后，再进入烘房缓缓升温，避免过多放置被涂物，加强适当通风。

3）采用挥发速率较慢的稀释剂，如高沸点芳烃溶剂、酯类等。

4）在涂料配方中，除去或减少可能引起起霜迁移现象的组分。

5）避免在有烟气、油气、化学气体、灰尘和潮湿阴雨环境中施工，施工后的漆膜要注意防潮、防烟、防煤气等。

6）室内涂装时，注意空气的流通，注意施工期间温度变化不要过大，对于烘干型漆，要注意循序升温。

7）对产生弊病的漆膜，应打磨、除尘后重新涂装。

### 9.3.34　什么是气泡和爆孔？

涂膜干燥后，表层出现直径不同的圆形气泡的现象叫做气泡，气泡一经碰压即破裂，泡内可含液体、蒸汽、其他气体或结晶物。气泡在漆膜表面破裂而未流平称为爆孔。

### 9.3.35　气泡和爆孔产生的原因是什么？

1）漆膜在高湿度环境或浸水过程中，由于潮气透入膜下，当其蒸气压力达到足够大时，即会产生起泡现象，日光曝晒会加速这种现象的发生。

2）在没有干透的基层上涂漆，当漆膜干燥后，内部的溶剂或水分受热膨胀而将漆膜鼓起，形成气泡。

3）涂料的长时间搅拌，特别是粘稠的涂料、双组分聚氨酯涂料中易产生气泡；如果静置消泡时间不够就进行喷涂，涂膜也易产生气泡；水性烘漆的爆孔尤其严重。

4）在强烈的日光下或高温下涂装，涂层过厚，表面的涂料经曝晒干燥，热量传入内层涂料后，涂层中的溶剂迅速挥发聚集，造成了漆膜起泡。

5）在多孔表面涂装时，没有将孔眼填实，而在干燥过程中，孔眼中的空气受热膨胀后鼓成气泡。

6）底材表面处理不合格，金属表面未除净的锈蚀、氧化皮等与涂料中某些物质或渗入的水、气体、腐蚀介质反应，生成气体；木质器件潮湿，涂上漆后遇热易起气泡；

含有异氰酸酯的聚氨酯涂料与空气中的湿气反应产生二氧化碳气体等。

7）烘烤型涂料急剧加热，涂膜易起泡。

### 9.3.36　如何防止气泡和爆孔？

1）防止潮湿气候下的施工，底材处理要无油和除尘，且达到一定的表面处理等级，特别要排除表面微孔或凹坑中的水分、油分。

2）涂装要具有一定的时间间隔，在底层涂料实干后，再进行下道涂料的施工。

3）在搅拌后至少放置 1 ~ 2h，等气泡消失后再涂装，可加入一定的消泡剂，并注意施工技巧，避免搅拌和施工过程中气泡的产生。

4）合理地选择涂料品种，选用挥发速率较慢的稀释剂品种。

5）工件在涂装时和涂装后，避免直接放在日光或高温下，避免用带汗的手接触工件。

6）烘烤涂料涂漆后在室温下静置 15min，烘烤时要有温度梯度，不要升温太快，按规定控制温度和时间，让溶剂能正常挥发。

7）常年大量喷漆作业的场合，建议安装有效的冷冻干燥机，并每天排干空气压缩机的贮气罐。

8）漆膜如有气泡，应视弊病情况而决定是局部修补还是铲除后重新涂装。

### 9.3.37　什么是刷痕？

漆膜干燥后表面有严重的刷涂痕迹或辊筒痕迹，影响漆膜的手感和干遮盖力的现象叫做刷痕。其表现为：随着漆刷和辊筒的移动方向，在干燥的漆膜表面残留有凹凸不平的条纹或痕迹现象。主要影响漆膜外观的光滑、平整、光泽及涂层的厚度。

### 9.3.38　刷痕产生的原因是什么？

1）涂料粘度大，导致流平性差，触变性大。施工后，涂料粘度恢复到原始粘度时间很快，涂料刷痕来不及流平。

2）施工环境温度过高，溶剂挥发过快，涂料干燥快，流平时间短，使漆刷拉不开或刷上后来不及流平即干燥，漆膜上留下漆刷刷过的线条、痕迹。

3）涂层太薄。

4）涂装工具选择不当，漆刷刷毛过硬或不齐、不清洁，辊筒不清洁，过硬等。

5）施工技巧差，漆刷或辊筒来回涂刷或滚动过多，湿涂膜不规则、高低起伏大。

6）基材处理不彻底，或基材吸收性过强，涂料涂刷后即被吸干，也会造成涂刷困难而出现刷痕。

### 9.3.39　如何防止刷痕？

1）施工前，应调整涂料粘度和触变性，增加流平剂；对厚浆型高固体分涂料，应选用其中流平性好的涂料，以防止刷痕的产生。

2）避免在温度过高的环境下施工，此时涂料干燥快，可添加慢干助溶剂（乙/丙二醇）、高保水作用的纤维素醚，以及高 HLB 值的表面活性剂等，增强涂膜的保水慢干作用。

3）涂料不能任意兑水，涂膜过薄影响流平。

4）选用合适的涂装工具，漆刷和辊筒要软硬适中，刷涂时厚薄均匀；漆刷和辊筒

一定要干净，避免有杂物和碎屑混入。

5）尽量选用喷涂方式，可避免刷痕的产生；采用刷涂和辊涂施工时，涂料一次不要蘸取过多，不要来回多次拖动漆刷或辊筒。

6）基材要处理彻底，封闭良好，均匀基材对涂料水分吸水性能好、干燥均匀。在底材喷砂除锈的情况下，底材虽有一定的表面粗糙度，但其值不宜过大，在吸收性强的底层上先刷一道底漆。

7）对于烘干型涂料，其粘度要适中，涂漆后需在室温下静置 15min，烘烤时先以低温预热，按工艺控制温度和时间，让溶剂正常挥发。

8）对出现刷痕的涂层，在表面要求不高时，并不影响防腐保护效果；对有装饰性要求的面漆，需用细砂纸将刷痕磨平，去除尘屑，再涂装一道面漆。

### 9.3.40　什么是咬底？

在干漆膜上施涂涂料，在涂层施涂或干燥期间下漆层表面发生软化、起皱或干枯收缩、开裂、鼓起等的现象叫做咬底。咬底常见于修补的羽状边缘周围，下面的漆层可能破裂至最外层。易出现咬起底层的涂料有：硝基涂料、环氧涂料、聚氨酯等含有强溶剂的涂料。

### 9.3.41　咬底产生的原因是什么？

1）底漆和面漆不配套，底漆涂膜易被面漆中强溶剂溶胀。在极性较弱溶剂制成的涂料上层施涂含强极性溶剂的涂料，强溶剂对漆膜的渗透和溶胀使下层涂膜咬起。

2）待修补的底材没有完全固化。比如：面漆没有完全固化即重新修补或喷涂彩条。

3）底层未干透就涂装下一道涂料。

4）面漆施工时，固化剂加得太多或太少，造成交联密度不够，下次修补时极易被咬起。

5）喷涂中间闪干时间不足，尤其是面漆的连续喷涂，使溶剂积存过多，造成多余的溶剂侵蚀底面。

6）涂装时涂得过厚，强溶剂长时间不能挥发，渗入底层而溶胀起皱。

7）素材油脂含量很重（如酸枝木、柚木），在没有上涂 PU 封油的情况下上涂 PE 清底，PE 清底出现咬底。

### 9.3.42　如何防止咬底？

1）严格按照涂料说明书和配套原则进行涂装。一般同类涂料可以相互配套，不同种类涂料配套采用下硬上软的原则，如底漆采用强溶剂涂料，面漆则采用溶解力弱的涂料。

2）加强对旧漆层底面的检查，对不确定或存在隐患的涂膜使用可靠的封闭手段或去除老旧漆膜。对于检查出来存在隐患的底面使用合适的封闭底漆做封闭。

3）涂料要干透，严格按施工间隔周期来涂装。施工环境温度过低时，可适当延长涂装间隔，保证底层涂料的实干。对特殊品种的涂料，可采用“湿碰湿”的涂装工艺，在涂装完第一层未干时随即加涂一层，可提高涂层的附着力。

4）新漆膜，特别是喷涂较厚的新漆膜，必须给予一定的干燥时间。如有条件，应

当加温烤干，让其漆膜能够干固更好。

5）为防止咬底，不能一次涂装过厚，并延长干燥时间。

6）对油脂含量很重的素材在上涂 PE 清底之前一定要进行封油处理。

7）已发生“咬底”弊病的涂料，应铲去咬底部位的涂层，补涂并改进配套。

### 9.3.43　什么是发花？

含有多种颜料的混合物体系，在贮存或干燥过程中，一种或几种颜料离析或浮出，并在色漆或漆膜表面呈现颜色不匀的斑点、条纹和色相杂乱等的现象，称为发花。

### 9.3.44　发花产生的原因是什么？

1）涂料中的色浆分散性差或不同颜料的密度、颗粒大小、吸油量等指标差异大，某种颜料的过度絮凝或沉降等，造成颜料分散体系的分离，这是造成发花的主要原因。

2）所用溶剂的溶解力不足，且多种溶剂的混溶性不好，即使在溶剂的作用下消除了混浊，但溶剂挥发后，必然出现发花。

3）涂料的粘度不良，施工前未对涂料进行搅拌，涂料上部和下部不均匀，由于对流引起颜料的流动，其中细的、密度小的颜料颗粒向表层移动，大颗粒、密度大的留在下部，于是产生发花现象。

4）一次涂装过厚，漆膜上下发生对流、发花而形成六角形的小花纹。

5）湿涂膜表面受热不均，造成表面张力差，出现发花现象。

6）喷涂设备内残留有其他颜色的漆未清洗干净，特别是残留深色漆。涂装浅色漆时，漆刷或辊筒等处的深色渗出。

7）使用单色漆调制复色漆时，未添加防浮色发花助剂。

8）涂装时湿度过大，涂装附近有能与颜料起作用的氨、$SO_2$ 等气体的发生源。

### 9.3.45　如何防止发花？

1）精心设计复色漆配方，并合理使用涂料润滑分散剂，强化研磨质量检验。

2）选择适当的溶剂，溶剂之间混溶性要好。

3）调整粘度至合适范围，施工前应对涂料进行充分搅拌，使涂料上下均匀，减少因为涂料密度大小差异而带来的发花。

4）涂膜厚度应符合工艺要求，不可过厚。

5）烘烤型涂料应严格按照工艺要求，逐步升温。

6）涂装前，应彻底清洗所有的喷涂设备，避免受残留色漆的影响。

7）调制复色漆时，应选用同一厂家的同一类型产品，同时还应加入助剂，不同厂家的产品尽量不要混合调配。

8）避免在高湿和有腐蚀性气体的环境中涂装。

9）出现发花现象，一般不会影响涂层的防腐保护性能，作为底漆可继续涂装；作为高装饰性面漆，需用细砂纸打磨，除去灰尘后，再补涂合适的涂料。

### 9.3.46　什么是浮色？

浮色是发花的极端状况，某些颜料浮升至漆膜表面，虽表面颜色均匀一致，但明显地不同于我们所需要的湿膜颜色，漆膜表面和下层的颜料分布不匀，各断面的色调有差异。其特点是漆膜外观色调仍一样，但湿膜和干膜的色调差异大。

### 9.3.47　浮色产生的原因是什么?

1）复色漆中所选颜料的密度差异较大。

2）配置复色漆时未添加防浮色剂。

3）配置复色漆的色浆分散性达不到要求，或分散方法和分散设备选用不合理。

4）溶剂在涂层的里表挥发不一，易出现对流而产生浮色现象。

5）夏季溶剂挥发过快，冬季溶剂挥发过慢。

6）施工粘度较低。

7）涂装方法及设备不适宜。

### 9.3.48　如何防止浮色?

1）改进涂料配方，选用分散性好的颜料和互溶性好的涂料，所选颜料的密度差异尽量小。

2）配置复色漆时，可添加防浮色、发花助剂，助剂加入量不宜过多，如硅油过多将降低涂层间的附着力。有时需用两种以上助剂，此时要注意它们之间的匹配性。

3）改进分散方法，选择合适的研磨设备；添加润湿分散剂促进颜料分散，使其分散性达到要求。

4）混合溶剂要注意挥发速度的平衡，真溶剂和稀释剂要保持涂料需要的适宜比例。

5）在夏季施工时，选用挥发较慢的溶剂；在冬季施工，采用挥发较快的溶剂，防止因涂料挥发速率过慢导致的粘度缓慢上升。

6）适当增加涂料粘度，减少涂膜表面的表面张力梯度，控制漆膜厚度，以挥发较慢的溶剂代替挥发较快的溶剂，可消除浮色现象；加入触变增稠剂可防浮色发花，但由于对流平会有影响，因此在浸涂和喷涂涂料中不宜使用。另外使用过程中加入量需试验，加入过多会产生刷痕、凝絮等弊病。

7）选用合适的涂装方法及设备。

8）出现浮色现象，一般不会影响涂层的防腐保护性能，作为底漆可继续涂装；作为高装饰性面漆，需用细砂纸打磨，除去灰尘后，再补涂合适的涂料。

### 9.3.49　什么是渗色?

来自底材或漆膜的有色物质进入上层漆膜，使漆膜呈现异常着色或变色的现象叫做渗色。其表现为：涂完面漆后，底漆中的颜料或染料颜色渗透到面漆上来，使面漆变色。一般来说，无机颜料很少存在此方面问题，红色或紫红色的色淀有机颜料或黄色颜料的涂料易出现此类问题。

### 9.3.50　渗色产生的原因是什么?

1）涂装配套不合理。涂料渗色常发生在底漆色深、面漆色淡的情况下，如白色面漆涂刷在红色或棕色的底漆上，面漆变为粉红色或灰色。

2）原来的旧面漆老旧、风化、粉化，上面的易上浮的红、黄颜料已松动，涂装底漆前，未清除物面上的松动染料、油污、松脂、红汞等。在木材和铜面上涂装易出现渗色现象。

3）施工中，涂装具有强溶剂的面漆，或底层含有耐溶剂性差的有机颜料，使底层

漆膜溶解。如喷涂硝基漆时，下层底漆有时透过面漆，使上层原来的颜色染色。

4）底色未干透，就将不同色的面漆重喷在其上面。

5）在底层中使用了干燥极慢的材料，如大漆或沥青类涂料打底，再涂刷油漆，漆面上会出现沥青或大漆的漆斑。

6）原子灰中的固化剂使用量超过标准，造成多余的过氧化物上浮，特别是某些车辆在喷涂中不使用中涂底漆封闭腻子就直接喷涂面漆，有使渗色可能增大的趋势。

### 9.3.51　如何防止渗色？

1）改善涂装配套，可用颜色相近的浅色底漆，已涂装底漆的可加一层过渡颜色的中间层，再涂装白色面漆。

2）涂装底漆前，一定要彻底清除松动染料、油污、松脂、沥青、红汞等。木材表面渗色，事先涂虫胶清漆一层以隔离染色剂，或灵活更换相适应的颜色漆。

3）加强对旧涂层的检验，可以采用溶剂法检验，如果擦拭布被染色，一定要采取合理的封闭措施。不可靠的旧漆膜必须去除。目前来说，这种情况多见于老旧出租汽车改色施工中。

4）施工时，按照配套原则选择面漆，不能用含有强溶剂的涂料作面漆。

5）涂装应有一定的时间间隔，使底漆充分干透。

6）最好不用干燥极慢的大漆腻子或沥青涂料打底。如已使用则要等底漆干透后再涂装面漆，同时可加涂中间层；在中间层或面漆中添加片状颜料（如铝粉）来防止面漆溶剂的渗色。

7）改色涂装应采用薄层预涂技术，即第一层以较快枪速扫喷，然后仔细观察是否出现浮红等缺陷，并留足这一道的溶剂挥发时间。

8）渗色一般只影响涂层的外观，并不影响其防腐保护效果。出现渗色现象时，可在涂层干燥后，再涂装一道面漆，也可先加涂中间层，再涂装面漆，将渗色现象盖住。对装饰性要求高的，可将渗色部分用细砂纸打磨均匀，补涂相应面漆。

### 9.3.52　什么是露底和盖底不良？

露底是指由于漏涂而使被涂物表面未涂上涂料，俗称缺漆。盖底不良是指涂料经涂装干燥后，涂膜太薄露出底材颜色的现象。易产生此类缺陷的涂料有着色颜料含量少的涂料和颜色鲜明的涂料等。

### 9.3.53　露底和盖底不良产生的原因是什么？

1）涂料配置时比例选择不恰当，颜料含量过低或颜料遮盖力太差，或使用透明性颜料。

2）使用前，未充分搅拌，导致沉降的颜料未被搅起或搅拌不均匀。

3）底材处理未达到要求，主要体现在清漆在木器涂装中。

4）施工时，稀释剂添加过量等导致施工粘度偏低。

5）涂装时，漆膜过薄，在刷底、面漆不同颜色的色漆时，面漆只涂了一遍，并有漏涂现象等；喷涂过薄或喷涂膜厚不均匀。

6）底、面漆色调反差太大，如在深色底漆上涂浅色漆。

7）基底凸凹不平，导致涂膜厚薄不均或漏涂。

8）打磨过度，打穿漆膜。

### 9.3.54　如何防止露底和盖底不良？

1）选择合适的原材料（可参照总遮盖力方程）和适当的比例，提高涂料的遮盖力，例如白色颜料不用氧化锌或硫酸钡等而选用钛白；增加涂料中颜填料的用量，涂料应使用同一厂家同一批次的产品。

2）涂料在涂装前和涂装过程中应充分搅拌均匀，保证涂料分散良好，并有良好的稳定性，尤其是颜填料在贮存过程中易沉底，应充分搅拌使桶底的硬结也分散进入涂料。

3）对木器底材，可先涂刷少许较浓的虫胶漆作为底层，再涂装涂料。

4）涂装前，注意调节好涂料的施工粘度，稀释剂不能加入过量，总加入量不超过涂料总量的5%（质量分数）。

5）涂装应仔细，防止漏涂。喷枪或刷具移动速率要均匀，注意每一次涂装边缘，应当在前面的幅度边缘上重复1/3，且搭界的宽度应保持一致。

6）适当调整底漆与中漆、面漆的色差，对于金属底色漆，由于其喷涂很薄，中涂颜色最好与面漆相近；当底材颜色与面漆颜色相差过大时，为保证遮盖力，可薄薄地多涂刷一道涂料。

7）涂装前基底应处理平滑。

8）打磨时避免磨穿。

9）使用滚筒施工效果较好，可有效减少或避免此类弊病的发生。

10）对轻微露底者，可用毛笔或漆刷蘸涂料补匀；若大面积出现星星点点的露底时，可用细砂纸将该漆膜打毛，除去灰尘后，重新涂装；对不能盖住底色的，可重新涂装一道面漆。

### 9.3.55　什么是发白？

发白也称白化、变白，是指有光涂料干燥过程中，漆膜上呈现云雾状白色，产生无光、发浑、呈半透明状等现象。严重的失光，漆膜上出现微孔和丝纹，有时呈现出乳白色的现象。这是由于空气中的水汽在湿漆膜表面凝露或涂料中的一种或多种固态组分析出引起的。

### 9.3.56　发白产生的原因是什么？

1）溶剂和稀释剂的配比不恰当，部分溶剂挥发过快，剩余的溶剂对树脂的溶解能力不足，造成树脂在涂层中的析出而变白。

2）涂料生产过程中的溶剂和颜填料含水，或施工过程中稀释剂含水。稀释剂沸点低、挥发快，导致涂膜表层温度急剧下降，从而引起湿气凝结。

3）在低温和潮湿（相对湿度大于80%）环境中施工，低于露点温度时空气中的水分凝结渗入涂层产生乳化，表面变为不透明，待水分最后蒸发，空隙被空气取代成为一层有孔无光的涂膜。

4）被涂物底材含水率过高（大于15%），冬季在薄板件上施工，漆膜易发白。

5）喷涂施工中，净化装置的油水分离器失效，水分混入。

6）一次涂装过厚。

7）打磨后放置时间过长，水分吸附在漆膜表面。

8）通常单组分溶剂挥发干燥型的清漆涂装时更易产生。硝基、过氯乙烯涂料易产生这种现象；虫胶漆液与较热物品接触也会变白。

### 9.3.57　如何防止发白？

1）严格控制树脂和溶剂体系及稀释剂的配合，防止聚合物在涂装过程中的析出；合理选择溶剂和稀释剂。

2）严格控制涂料生产中水分的混入。稀释剂要将水分分离，同时采用高沸点稀释剂，也可加入防潮剂，也称防泛白剂，促使水分挥发，但加入量要严格控制。

3）施工环境要控制为相对湿度在 70% 以下，温度高于露点温度 3℃以上。在冬季和阴雨天气施工，应选用专用型涂料。若工期较紧，可将涂料经低温预热后涂装，或在被涂物件周围用红外灯加热，等环境温度上升后再涂装。

4）被涂底材表面要干燥，最好保证其温度略高于环境温度。木材表面要烘干处理或者涂装封闭底漆。对于采用高压水除锈的底材或表面不断有水分渗出而无法防止的情况，可采用专用底漆。

5）喷涂设备中的凝聚水分必须彻底清除于净，检查油水分离器的可靠性。

6）一次涂装不可过厚，一般干膜不超过 30μm。

7）打磨后要尽快施工。

8）采用硝基、过氯乙烯涂料时应尤为注意。当虫胶漆液发白时，可用棉团沾虫胶漆液或乙醇擦涂于发白之处，即可复原。对已经出现发白的，可缓缓加热被涂物；也可在漆膜上喷一层薄薄的防潮剂，或两种方法结合使用。对于发白过于严重而无法补救的，可用细砂纸轻轻打磨漆膜表面后，除去尘屑，在适合的环境中，重新涂装。

### 9.3.58　什么是水印？

颜色、光泽均匀的涂膜经受雨水或其他渗出水浸润，湿涂膜干燥后，在被雨水浸润过的地方，留下水浸润过的痕迹，且此痕迹长久不能消退，这种痕迹称为雨痕或水印。其表现为：白色涂膜表面出现亮块，光泽不均；彩色涂膜出现云雾状色斑，颜色深浅不一，光泽不一。水印从正面观察并不明显，从侧面观察，色块或亮块非常明显，影响涂膜的装饰效果。

### 9.3.59　水印产生的原因是什么？

1）所用涂料的耐水性、耐潮湿性差。

2）涂膜在彻底干燥前就暴露在雨中。

3）施工时环境湿度过高。

4）涂膜遇水冲后立即曝晒。

5）油漆本身干燥太慢。

6）基底水分含量高。

7）固化剂配比不合理。

8）墙面等基底出现渗水、漏水。

### 9.3.60　如何防止水印？

1）选择耐水性和耐潮湿性优良的品种作为面漆。尽量减少涂膜表面活性剂物质，

选用使用反映型乳化剂聚合的乳液，对抗止水印有明显效果；选用固体分抗水溶助剂，减少亲水润湿剂用量；选用抗雨水渗透助剂，增强涂膜抗雨水渗透能力，防止和减少雨水的渗透；使用有机-无机复合体系（乳液-硅溶胶），可有效减少水印。

2）漆膜未完全固化前切忌露天放置；雨天涂装好的工件要进行烘烤或在干燥的环境中保养足够的时间；选择憎水性的保护剂。

3）涂膜遇水后应阴干或慢烘干后再置于强光下。

4）油漆本身干燥太慢的需要重新进行调整。

5）确保基底含水量不能过高，必要时进行烘干处理。

6）检查固化剂比例，不合理的要修改。

7）施工基底要做好防水处理、修补裂缝等，确保墙面等基底无渗水、漏水。

### 9.3.61　什么是腻子痕迹?

此现象表现为在面漆的表面上出现腻子痕迹，其产生机理是面漆的溶剂渗入腻子和旧漆膜层，使其湿润、膨胀，由于树脂不同，湿润、膨胀程度也不同，在干燥过程中收缩时，腻子面薄边翘鼓，导致产生腻子痕迹。

### 9.3.62　腻子痕迹产生的原因是什么?

1）刮腻子部位未涂封底漆，腻子层的吸漆量大，或颜色与底漆层不同。

2）面漆可溶解性强。

3）防白水（化白水）添加过量。

4）刮腻子部位打磨不足。

5）腻子干燥不够。

6）硝基型腻子过厚。

7）在硝基漆膜之间嵌入了聚酯腻子。

8）腻子的收缩性大，磨平后和涂层使用过程中继续产生收缩。

9）过度稀释的面漆涂得太厚。

### 9.3.63　如何防止腻子痕迹?

1）刮腻子部位应补涂底漆，在多层涂装场合涂刮在底漆层上，再涂中间涂层，使腻子层吸漆量不致过大。

2）调整面漆的可溶解性不要过强。

3）防白水（化白水）添加要适量。

4）刮过腻子的部位应仔细打磨，所用砂纸应符合工艺规定，在装饰要求高的场合宜采用湿打磨。

5）腻子干燥时间要充分。

6）硝基腻子不要涂得过厚。硝基型旧漆膜上不要涂聚酯腻子。

7）选用收缩性小的腻子。硝基腻子的收缩性大，仅适用于填平砂眼之类的缺陷。

8）面漆稀释要适度，涂刷也不宜过厚。

9）对于已出现腻子痕迹的，要打磨到腻子表面，用合成头二道底漆喷涂后，在掌握好时间间隔的同时喷涂面漆，或者彻底打磨腻子痕迹，再次涂装。

### 9.3.64　什么是桔皮？

桔皮是指漆膜呈现许多半圆形突起，形如桔皮状外观的现象。这种现象是涂料自身具有的天然现象，只是在其表现轻、重上有区别。桔皮现象一般受环境温度、风速等条件的影响较大，在夏季出现的情况偏多。易产生桔皮缺陷的涂料有：硝化纤维素涂料、氨基酸涂料、丙烯酸涂料、粉末涂料等。

### 9.3.65　桔皮产生的原因是什么？

1）涂料本身流平性差，粘度过大，来不及流平。

2）被涂物面不光滑，影响涂料的流平或对涂料的吸收。

3）被涂物的温度高，或过早地进入高温烘箱内烘干，使得漆液微粒失去过多的溶剂，在恰当流平之前就干燥固定下来，形成粗糙的表面。

4）涂料的溶剂和稀释剂挥发过快、施工温度过高或过低、过度通风、不恰当的干燥方式等。

5）喷涂施工（尤其是喷涂底材为平面）时，更易出现此弊病。特别是喷涂施工方式不当，如喷涂距离太远、压力不足、喷嘴口径过小、喷枪运行速率过快等，使漆液的雾化微粒在到达工作表面时出现过度干燥，达到底面的漆液微粒将会保持其刚从枪嘴出来时的形状而不再流平，形成粗糙的表面；喷枪雾化不良，涂料雾颗粒过大，也可能产生桔皮。

6）每道漆之间的闪干时间不恰当。主要是两道喷涂的间隔时间过长，一般超过20min，则第二道喷涂的油漆液态微粒中含有的溶剂将被第一道油漆层所吸收，从而造成液态涂料微粒无法正常流动，使涂料的自流平性受到破坏。

7）冬季低温情况下，在冷库中存放的材料拿出来直接使用，因其粘度异常，喷涂后出现桔皮。

### 9.3.66　如何防止桔皮？

1）采用低固体分涂料、相对分子质量低的树脂及低颜填料含量。在涂料生产和应用过程中，加入适量流平剂。

2）底材要经过严格的处理，在喷砂除锈的情况下，虽底材有一定的表面粗糙度，但其值不宜过大。对吸收性强的底材先刷一道底漆，使其平整光滑，保证面漆和底漆有足够的干燥时间（时间不要太长或太短）。

3）避免在温度过高的环境下施工。选用合适的溶剂或添加部分挥发较慢的高沸点有机溶剂，降低溶剂的急剧挥发；减小喷涂室内的风速。对于夏季高温环境条件下施工时，可选用慢干型号的固化剂和稀释剂，充分改善涂料的流平性。

4）烘干型涂料粘度要适中，严格按照标准作业程序操作，按规定控制温度和时间。

5）按照喷涂施工技巧正确施工，选择合适的设备和参数。

6）留有足够的闪干和干燥时间，不要用风吹干湿润的漆面。

7）对出现桔皮的涂层，需用细砂纸将痕迹磨平，去除尘屑，再喷涂或涂装一道面漆。

### 9.3.67　什么是发汗?

发汗或渗出是漆膜表面析出漆基的一种或多种液态组分的现象，渗出液通常呈油状且发粘。其表现为：漆膜上有油脂等从底层渗出到表面；无光的油性漆和磁漆在打磨后出现光彩；某些涂料在 60℃以上烘干时，增塑剂等呈汗珠状析出等。

### 9.3.68　发汗产生的原因是什么?

1）清油、油脂类漆及树脂含量较少的漆，漆膜在潮湿、阴暗和温度高的环境中，尤其是通风不良的情况下，容易“发汗”。

2）涂料中加入过量的增塑剂或增塑剂搭配不当，如硝基清漆配方中含有过量的油酸或蓖麻油。

3）基材中含有蜡、矿物油或润滑油脂；底材表面处理不合格，旧漆膜上残余的石蜡、油脂类物质未除尽，它们透入漆膜，使漆膜软化，硝基漆尤其敏感。

4）涂层未完全干透就涂装下一道涂料或进行打磨。

5）漆膜的烘烤温度过高，通风不良等。

### 9.3.69　如何防止发汗?

1）使用涂料时，选择湿润性好的清油，涂膜适宜用在户外和阳光充足的环境中。

2）适量减少涂料中含油质和蜡质增塑剂的用量，选用溶剂型增塑剂。

3）将底材上的石蜡、油脂类物质等清除干净；对旧漆膜不仅要清除油污等，还要打毛除尘；不要用沾有油污和汗渍的裸手或物品接触涂膜。

4）下一道的涂装或打磨应在上一道涂料完全干透后再进行。

5）降低涂膜的烘烤温度，加强通风。

6）出现弊病的漆膜，应用溶剂擦拭，待完全干透、打磨除尘后重新涂装。

### 9.3.70　什么是起皱?

起皱也称为皱纹，是指直接涂在底层上或已干透的底涂层上的漆膜在干燥过程中产生皱纹的现象。漆膜呈现有规律的小波幅波纹形式的皱纹，它可深及部分或全部膜厚，皱纹的大小和密集程度可随漆膜组成及成膜时条件（包括温度、湿膜厚度和大气污染情况）而变化。

### 9.3.71　起皱产生的原因是什么?

1）起皱主要出现在油性漆和醇酸类涂料上。涂装这两类涂料时，恰遇高温及日光曝晒，或施工场所通风不良等，使漆膜表面提前干燥，而内部的油漆漆膜来不及干燥，形成皱纹。

2）在涂料中过多使用了促进表面干燥的钴和锰催干剂。

3）干燥快的涂料和干燥慢的涂料掺合使用时，由于涂层表面干燥快，迅速成膜，内层涂膜的干燥受到影响，两层漆膜的干燥速率不同，导致皱纹。

4）涂料粘度过大，形成漆膜过厚，厚膜比薄膜更易起皱。

5）底层涂膜未完全干透，就涂覆下一道涂料，使内部溶剂无法完全挥发。

6）对烘烤型涂料，涂膜烘干升温过急，造成干燥速度不均匀，涂料来不及流平而收缩成皱纹。

7）涂层之间配套不合理，当涂层发生“咬底”现象时，上层漆膜出现皱纹。

8）易挥发的有机溶剂比挥发较慢的有机溶剂涂层更易起皱。

### 9.3.72　如何防止起皱？

1）尽量不用油性涂料或醇酸类需空气干燥的涂料。避免在高温、高湿情况下施工，改善通风条件。涂装后不可在烈日下曝晒。可在涂料中加入防起皱的流平剂或湿润分散剂。

2）减少钴锰催干剂的用量，多用铅或锌催干剂和新型复合催干剂。对于烘干型涂料添加锌类催干剂防止起皱的效果特别突出。

3）干燥速率不同的涂料不能掺合使用。

4）减小涂料的粘度，在喷涂过程中喷枪移动速率不能过慢，喷距不能过近；刷涂时蘸取涂料不宜过多，注意成膜厚度不要过大，防止在边角凹陷处积存涂料。

5）涂装后要有足够的干燥时间，保证涂膜的完全干燥。

6）对烘烤型涂料，要按照烘烤干燥技术条件制订逐步升温烘烤的干燥工艺规范，按照工艺规范逐步升温。如出现“咬底”现象时，按上述针对“咬底”的防止措施执行，注意涂料的配套性能。

7）采用挥发较慢的溶剂系统，稀释剂不能加入过多。

8）起皱现象严重的涂膜，需铲去重新涂装。轻微的起皱，一般可用细砂纸将皱纹磨平，去除尘屑，再喷涂或涂装一道涂料。

### 9.3.73　什么是厚边？

涂料在涂漆面的边缘堆积呈现脊状隆起，使干膜边缘过厚的现象称为厚边，也称为“画框”。其表现为：在样板或部件的边缘，漆膜呈现明显的增厚、隆起，有时甚至发粘。厚边是浸涂、淋涂和喷涂施工中常见的涂膜弊病。

### 9.3.74　厚边产生的原因是什么？

1）淋涂和浸涂施工中，在被涂部件的边缘和底部，涂料容易堆积、变厚。

2）在涂装尖端边缘处的棱角时，常常会出现边缘覆盖不良，过厚或过薄的覆盖情况常常同时出现。

3）烘烤型的涂料在干燥过程中常常会出现该弊病。由于边缘处的溶剂挥发较快，涂料中基料的表面张力一般比溶剂高，因此出现表面张力梯度，使涂料流向底材的边缘处。

4）涂料的“流挂”弊病造成边缘处涂料的堆积。

### 9.3.75　如何防止厚边？

1）在浸涂或淋涂施工中，延长滴干时间，降低涂料的粘度，可及时用漆刷将多余漆液刷除或者用静电或离心力除去多余的涂料。

2）烘烤中出现的画框现象，可通过在涂料中加入硅油或表面活性剂来改善，具体表面活性剂品种可查阅相关技术手册。

3）加入硅油和表面活性剂通常只能降低表面张力和减轻厚边弊病的程度，同时使用触变剂，可减少或完全消除画框现象。

4）采用防“流挂”弊病的措施，主要是采用挥发较快的溶剂或添加防流挂触变助剂。

5）对装饰性要求不高的涂膜，出现厚边现象时，需待厚涂膜完全干透后，再涂装下一道涂料。对装饰性要求高的涂膜，可用划刀或细砂纸将厚边部分除去，打磨后再补涂。

### 9.3.76　什么是鱼眼?

鱼眼是指漆膜干燥后出现若干大小不等、分布各异、厚薄形态各异的小坑的现象。此弊病也称为缩孔、缩漆、负眼、麻坑（点）、发笑等。其表现为：涂料施涂后，漆膜上形成小火山口状凹坑，在凹坑的中央常常有滴状或条状物质，边缘隆起，使漆膜破坏而露出底层，是现场最严重的漆膜弊病之一。一般不定形面积大的称为“发笑”；圆形的称为“缩孔”；如果在圆孔内有颗粒，称为“鱼眼”。易产生该弊病的涂料有氨基醇酸涂料、环氧和聚氨酚涂料及某些溶剂挥发型涂料。

### 9.3.77　鱼眼产生的原因是什么?

1）加入的稀释剂过多，稀释剂的挥发速率过快，涂料来不及流平。

2）涂料中硅油的加入量过多。

3）涂料对被涂物表面的浸润性差。双组分涂料的熟化不足，颜填料的分散和混合比不当，过量使用硅油类等助剂，涂料的流动性不佳，展平性差等。

4）脱漆剂的影响。为保持脱漆剂在脱漆表面上良好地附着，在脱漆剂中使用着大量的石蜡材料，以保证其粘稠状态。这些轻质的石蜡材料在溶剂中具有部分可溶性，如果未能及时有效地清除，会透过层层底漆上浮，最终造成面漆的涂装失败。

5）涂装物表面处理不合格，表面过于光滑，或底漆太光滑，或被涂物表面是旧漆膜且未经处理，面漆不能均匀地附着；表面沾有油污、汗渍、酸碱渍、蜡质或刷漆后受大量烟熏等。

6）在相距不远的两个地方同时喷涂两个不同种类的油漆，飞扬的漆雾会相互干扰，例如：醇酸漆的漆雾飘至 2K 聚氨酯上，很有可能会产生缩孔。

7）涂刷机具未清洗彻底，或调漆工具及容器受到污染。现在市场上销售的部分空桶，其使用的密封胶不合格，经涂料中的溶剂浸泡后会进入涂料中，造成涂膜中出现不溶性杂质。

8）在阴雨天或潮湿的环境下施工，被涂物的表面有水，涂料和水不能混合，产生缩孔和发笑。

### 9.3.78　如何防止鱼眼?

1）在高温情况下，采用挥发较慢的溶剂系统，稀释剂不能加入过多，可加入高沸点稀释剂降低溶剂的急剧挥发。

2）控制硅油等表面活性剂的加入量。

3）选择对被涂物表面浸润性强的涂料；双组分涂料要充分搅拌均匀，并应经过一定的熟化（活化）期后使用。

4）做好底材的清洁工作，对表面过于光滑的底漆或旧漆膜，应除去灰尘、油污后用细砂纸磨掉漆的光泽，略加打毛，除去尘屑后，再涂装；彻底清除被涂物面上的油污、水渍、汗渍、蜡质等，采用化学脱脂、除污等方法，并除去锈蚀等表面残留。

5）涂装机具用毕要彻底清洗，防止凝胶颗粒和杂质尘屑混入涂料，购买容器前应

仔细检查，购买合格产品。

6）避免在阴雨天或湿度较大的环境中施工，施工温度不宜低于露点，防止凝露。

7）在喷涂过程中，发现有此类问题时，如不是特别严重，可在下一道喷涂开始使用鱼眼防止剂。注意用法与用量，并充分搅拌均匀后使用，不可过量使用。

8）对于局部数量很少的缩孔或鱼眼等可在涂料干燥后以点漆法处理后再抛光恢复。对出现轻微弊病的涂料，在湿膜时，可用漆刷反复理刷；不能消除时，则擦涂涂料，待被涂物面清洁干燥后，再次涂装。若干漆膜发现弊病，用细砂纸打磨，除去灰尘后，再次涂装。

### 9.3.79　什么是拉丝？

拉丝就是指在湿漆膜表面呈现的近似平行的线状条纹，且在漆膜干燥之后这种条纹仍然存在。

### 9.3.80　拉丝产生的原因是什么？

1）涂料的粘度过高，或涂料所用的合成树脂的分子大，按普通涂料施工粘度喷涂时出现拉丝现象。

2）稀释剂的溶解力不足或挥发速率过快，浸涂施工时，丝纹沿着流动的方向出现。

3）涂料中易拉丝的树脂含量超过规定含量。

4）喷涂施工时雾化过度、喷嘴太小或操作失误，使涂料成丝状，进而使涂膜呈丝状模样。

5）刷涂施工时操作不当，来回拖动漆刷或刷毛过硬，沿最后刷涂漆膜的刷涂力方向出现丝纹。

### 9.3.81　如何防止拉丝？

1）通过试验选择最适宜的施工粘度或最适宜的固体含量，可适当加入相应挥发速率较慢的稀释剂，但质量分数不要超过 5%。

2）选用溶解力适当的稀释剂，可用混合稀释剂；避免在夏季高温环境中的施工，采用高、中沸点的溶剂。

3）降低喷涂施工的压力，使用较大口径的喷嘴，缩短喷枪喷嘴与被涂物面的距离，使喷枪与被涂物面成直角并在边缘处瞄准后喷涂。

4）出现丝纹后，待涂膜干燥，再用细砂纸轻微磨平，除去灰尘后，再次涂装。

### 9.3.82　什么是“不起花纹”？

不起花纹是指在皱纹漆或锤纹漆涂装中，涂层没有显现应有的花纹的现象。其表现为：涂装锤纹漆或皱纹漆时，喷涂后的漆膜表面没有出现预定形状的花纹。

### 9.3.83　“不起花纹”产生的原因是什么？

1）涂料过稀、出现流挂现象或流平性能不佳；未用皱纹漆专用稀释剂。

2）皱纹漆漆膜过薄，未达到要求的厚度。

3）皱纹漆的烘干温度太低或过早放入烤箱，烘烤时间不够等。

4）锤纹漆喷完第一层后，静置时间过长，则喷第二层时花纹就小或不现花纹。

5）锤纹漆喷涂时，气压过大，喷嘴口径较小，则花纹就小或不现花纹。

### 9.3.84　如何防止“不起花纹”？

1）采用专用的皱纹漆或锤纹漆，用防流挂剂改善漆膜流挂状态，用流平剂增加涂膜的流平性能；漆液粘度以 30s 为宜，采用专用稀释剂，包括松节油、200 号溶剂汽油和苯类等。

2）喷第一层时可薄一些，隔 20～30min 喷第二层稍厚些。喷涂时应横喷一道，竖喷一道，但不得流溢。一般情况下，喷得越厚，皱纹越大；喷得越薄，花纹也就越小。

3）刚喷好的物件，不要马上放进烤箱，在高温下未干的涂料粘度较小，易造成流挂和花纹不匀；烘烤温度和时间要视物件而定，较厚的物件，烘干温度在 80℃以上，经 30min 应起花，深色漆烘干温度可达（120±5）℃，显纹时间 10～20min。当物体表面出现均匀花纹，即可从烘箱中取出，当其冷却后，检查花纹，如有缺陷，经修整后，可进行二次烘烤，浅色漆 80～90℃，深色漆 100～120℃，烘烤时间为 2～3h。

4）喷完第一层后，静置时间夏天为 10min，冬天为 20～30min 即可喷涂第二层。

5）喷涂第二层锤纹漆时，中小型物件的喷涂压力以 0.25～0.3MPa 为宜；喷嘴口径以 2.5mm 为宜。

6）对产生弊病的涂膜，可用细砂纸磨平，除尘后再次喷涂；大面积施工，可用脱漆剂除去漆膜，再涂装。

### 9.3.85　什么是砂纸纹？

砂纸纹是指在面漆涂装和干燥后仍能清楚地看到砂纸打磨痕迹和打磨划伤，且影响涂层外观（光泽度、光滑度、丰满度和鲜映性）的现象。在被涂物表面使用锉刀修整留下的纹状痕迹称为锉刀纹。

### 9.3.86　砂纸纹产生的原因是什么？

1）产生砂纸痕的主要原因是砂纸选用不当，采用过粗的砂纸，或砂纸质量差有掉砂现象，或砂纸的跳号过大。

2）细砂纸打磨不彻底。

3）打磨方法不正确，打磨方向混乱，局部打磨用力过猛，打磨平面时未采用打磨块。

4）被涂物表面状态不良，有极深的打磨痕、锉刀纹或刮伤等缺陷。

5）打磨时机不当，涂层未完全干燥或冷却就加以打磨。

6）打磨工具的状况不良。

7）打磨后未检查打磨质量。

8）后道涂膜太薄或粘度过低。

### 9.3.87　如何防止砂纸纹？

1）涂装前选择质量可靠的砂纸，并按工艺要求选择正确的砂纸型号（面漆：600 号～800 号水砂纸；装饰性表面：800 号～1000 号水砂纸），依次由粗到细，砂纸跳号不可过大；在使用新砂纸之前，应将砂纸对磨一下，以消除掉砂。

2）用下一级砂纸前要彻底清除上级的砂纹。

3）提高涂装工的技能，选择合适的打磨工具，打磨平面时，应采用打磨块平顺地打磨；局部打磨时，应采用圆角打磨方式；打磨木材时，应按木材纹理的方向顺木纹砂

光，并清除干净灰尘、漆粉。

4）被涂物表面状态不良，应用刮腻子填平。

5）应待漆膜彻底干透且出烘房冷却至室温后，再进行打磨。

6）打磨工具使用前应仔细检查。

7）打磨之后，应对打磨面仔细进行质量检查。

8）保证涂膜的干膜厚度达到足以覆盖砂痕的要求，粘度应适当调整。

9）对装饰性要求较高的部位，以湿打磨取代干打磨。

10）一旦出现砂痕，细的砂痕可以用 1500 号砂纸打磨后抛光处理；粗砂纹则需要打磨后重新刷涂。

### 9.3.88　如何改善涂膜表面手感？

涂膜的手感包括两个方面：一是涂膜表面的细腻感；二是滑爽感。

细腻感取决于涂膜表面的平整程度，涂料本身的质量（包括细度、结皮、结胶、沉淀、流平性及涂料内是否含有微泡等），基材的表面粗糙度，施工工具的质量和清洁度，施工环境等。

提高涂膜表面细腻感的措施有：①提高涂料本身质量，涂料初始细度小，在贮存中细度稳定；涂料脱气干净，不含微气泡；提高涂料稳定性，防止涂料在贮存中结皮和凝结，提高涂料的流平性；②施工方面，选用优质施工工具，施工前清理刷子和辊筒松动的毛、线等杂物，施工工具保养好，防止有干结的涂料带入涂膜，保证施工环境的清洁。

涂膜的滑爽感与涂膜的表面能有直接关系：低表面能的物体表面，有良好的滑爽感。因此可以通过在涂料中添加降低涂膜表面能的物质来增加滑爽感，常用的添加物有三类，一类为有机硅助剂，依靠-$CH_3$ 的低表面能增加滑爽感；第二类为含氟助剂，-CF 基团的表面张力最小，含氟助剂提供比有机硅助剂更低的表面能，但价格也比有机硅助剂高；第三类价格较低的表面滑爽助剂——蜡类，如聚乙烯蜡、聚丙烯蜡、聚四氟乙烯蜡等。

## 9.4　电泳涂装中产生的涂膜弊病及防止措施

由于电泳涂装方法的独特性，其产生的涂膜弊病虽部分与一般涂装的涂膜弊病相同，但其产生原因和防止方法均有较大差异，而且有些弊病是电泳涂装所特有的。

### 9.4.1　电泳涂装中颗粒是怎样产生的？

1）电泳槽内过滤装置故障致使沉淀物和凝聚物混杂在电泳液槽中。

2）被涂物磷化后冲洗不干净，致使被涂物和吊具不洁净。

3）涂装或烘干环境不清洁，在任何过程中落上灰尘都会导致颗粒的产生。

4）电泳后冲洗液不洁净或冲洗液中涂料含量过高。

### 9.4.2　如何防止电泳涂装中产生颗粒？

1）确保电泳槽内过滤装置工作正常，使所有的循环槽液都必须通过过滤装置，并保持循环搅拌，防止涂料中沉淀物和凝聚物析出。

2）确保磷化后被涂物和涂装吊具冲洗干净，防止涂装吊具上结垢；加强磷化液的循环和过滤，及时清理磷化残渣。

3）确保涂装环境的清洁，定期清理烘干室，确保烘干系统密封和空气过滤装置工作正常，在涂装室和烘干室之间应设防尘通道，防止二次污染。

4）尽量控制和降低电泳后冲洗液的固体含量，防止生成泡沫。应及时过滤，提高冲洗液的清洁度。

### 9.4.3　电泳涂装中缩孔产生的原因是什么？

1）被涂物脱脂处理不完全，磷化膜上残留有油污。

2）槽液中混入了油、灰尘等污物。

3）冲洗液中混入了油、灰尘等污物，去离子水纯度差。

4）烘干室内不洁净或循环空气中含有油。

5）被涂物在电泳涂装中或之前受到硅酮的污染。

6）运输链上的油，空气中的灰尘、铁粉，压缩空气中含油和水等污染了被涂物。

7）补给的涂料或树脂中含有不溶解的粒子。

### 9.4.4　如何防止电泳涂装中的缩孔？

1）强化脱脂工序，保证磷化膜均匀、无污染。

2）在电泳槽液循环系统中增设脱脂过滤袋，防止油或灰尘等进入电泳槽。

3）确保冲洗水的纯净度，加强过滤。

4）确保烘干室内清洁，循环空气应过滤除尘和油，升温不宜过快。

5）被涂物在生产和电泳涂装过程中不应受到硅酮的污染。

6）确保涂装环境、运输工具和挂具的洁净，压缩空气应无油无水，设置防尘通道。

7）补给新的涂料或树脂前，应充分搅拌并过滤，防止不溶粒子进入电泳槽。

### 9.4.5　电泳涂装中针孔产生的原因是什么？

1）被涂物表面粗糙，磷化膜不均匀，或冲洗不干净，表面含有有害化学粒子、灰尘等。

2）工作电压过高，导致电解反应剧烈，产生许多气泡附着在被涂物表面，之后电泳涂装时气泡被包裹在涂膜内，烘干时气泡破裂而形成针孔。

3）在带电入槽场合下，槽液中杂质过多，被涂物表面与槽液润湿性不足，致使一些气泡被封闭在涂膜内，或槽液中的气泡附着在被涂物表面形成气孔、针孔，这种针孔多出现在被涂物的下部。

4）电泳涂装后，湿涂膜表面未冲洗干净，从电泳槽中带出的槽液导致涂膜产生再溶解，固体分离而造成针孔。

### 9.4.6　如何防止电泳涂装中针孔的产生？

1）电泳涂装前，被涂物表面要处理光滑并充分进行水冲洗，彻底清除表面的有害化学粒子、灰尘等；磷化膜要均匀、细密、较薄。

2）严格控制工作电压，槽温也要控制在规定范围之内。

3）尽量降低槽液中杂质含量，改善被涂物表面与槽液的润湿性；确保槽液流速不

低于 0.2m/s，避免泡沫堆积在被涂物表面。

4）电泳后应立即用过滤液冲洗，防止涂膜再溶解，冲洗水压力不可高于 0.12N/$mm^2$。

### 9.4.7　电泳涂装中涂膜粗糙的原因是什么？

1）被涂物表面处理后又被污染。

2）槽液固体含量过低，或过滤不好，有微小颗粒和凝聚物存在。

3）槽液中溶剂含量过低。

4）槽液温度过低。

5）槽液循环流动不好。

6）磷化膜不均匀，电泳涂装后水洗不充分，冲洗水不洁净。

### 9.4.8　如何防止电泳涂装中涂膜粗糙？

1）确保涂装环境洁净，防止被涂物处理后的二次污染。

2）提高槽液中固体含量，确保其在工艺要求范围之内，加强槽液的过滤。

3）提高槽液中的溶剂含量，确保其在工艺要求范围之内。

4）严格控制槽液温度，确保其在工艺要求范围之内。

5）加强电泳槽液的循环和搅拌，确保喷嘴不能堵塞。

6）工艺选择要合理，确保可生成致密均匀的磷化膜，加强电泳后水洗和水质管理。

### 9.4.9　电泳涂装中涂膜再溶解的原因是什么？

被涂物上的湿涂膜被槽液和过滤液再次溶解的现象叫做涂膜再溶解。电泳涂装中涂膜再溶解产生的原因有：

1）被涂物在槽液中停留的时间过长，槽液的溶剂含量过高，pH 值偏低。

2）被涂物在过滤液中停留的时间过长，过滤液的 pH 值偏低，冲洗时压力过高、时间过长。

### 9.4.10　如何防止电泳涂装中涂膜再溶解？

1）控制槽液的溶剂含量在工艺范围内，调整 pH 值。另外，断电时要将涂件从槽中取出。

2）控制过滤液的 pH 值在工艺范围内，被涂物在过滤液中停留的时间不得超过 1min，冲洗压力不宜过大，时间不得超过 20min。

### 9.4.11　电泳涂装中涂膜过厚的原因是什么？

1）槽液的溶剂含量或固体含量过高。

2）槽液的电导率偏高，温度偏高，循环不好。

5）泳涂电压过高，时间过长。

### 9.4.12　如何防止电泳涂装中涂膜过厚？

1）控制槽液中的固体含量在工艺范围之内，及时排放过滤液，添加去离子水，降低溶剂含量。

2）降低槽液中的杂质含量，及时排放过滤液，添加去离子水，降低电导率。

3）严格控制槽液温度在工艺范围内，否则会影响槽液的稳定性。

4）确保槽液循环良好，加强循环系统的检查维护。

5）控制泳涂电压不要过高

6）控制泳涂时间在工艺范围内，避免连续生产中运输链的停顿而导致实际泳涂时间偏长。

### 9.4.13　电泳涂装中涂膜过薄的原因是什么？

1）槽液的溶剂含量或固体含量过低。

2）槽液的电导率偏低。

3）槽液的温度偏低。

4）槽液的 pH 值偏低。

5）泳涂电压偏低。

6）泳涂时间过短。

7）被涂物通电不良或断电后未及时取出被涂物。

8）过滤液冲洗时间过长，导致涂膜再溶解。

### 9.4.14　如何防止电泳涂装中涂膜过薄？

1）控制槽液的溶剂含量或固体含量在工艺范围内。

2）降低湿涂膜电阻，添加调整剂，提高槽液电导率。

3）及时定期检查热交换系统，确保泳涂温度在工艺范围内。

4）通过添加中和度低的涂料等控制槽液 pH 值在工艺范围内。

5）在工艺范围内，适当提高泳涂电压。

6）适当延长泳涂时间。

7）确保被涂物通电良好，及时清理极板；断电后要及时取出被涂物。

8）过滤液冲洗时间不宜过长。

### 9.4.15　电泳涂装中附着异常的原因是什么？

被涂物表面磷化不均匀，电泳时，电流密度集中在电阻较小的部位，导致出现局部涂层堆积状态的现象，称为附着异常。电泳涂装中附着异常产生的原因有：

1）被涂物表面残留有焊渣、铁锈、脱脂液、磷化液等，或磷化膜表面有残渣、水印、蓝斑等，均会导致被涂物表面导电不均，局部电流密度过大。

2）槽液含有杂质离子。

3）槽液溶剂含量偏高。

4）槽液电导率过高。

5）槽液灰分太低。

6）槽液温度过高。

7）泳涂电压过高。

### 9.4.16　如何防止电泳涂装中附着异常？

1）泳涂前被涂物表面应无焊渣、铁锈，脱脂良好、磷化膜均匀细密，水洗要充分，保证被涂物表面无缺陷和污染。

2）控制槽液中的杂质离子。

3）控制槽液溶剂含量不致过高。

4）适当降低槽液电导率。

5）通过添加色浆来提高槽液灰分。

6）控制槽液温度及泳涂电压在工艺范围内。

### 9.4.17　电泳涂装中泳透力低的原因是什么？

由于被涂物的外形复杂或电泳时背离电极部分泳不上涂料或涂膜过薄的现象，称为泳透力低。电泳涂装中泳透力低产生的原因有：

1）选用的电泳涂料泳透力低。

2）槽液的固体含量低。

3）槽液搅拌不足。

4）泳涂电压偏低。

### 9.4.18　如何防止电泳涂装中泳透力低？

1）泳涂前要对涂料的泳透力进行检验，根据需要选择泳透力高的涂料。

2）及时添加涂料，提高槽液的固体含量。

3）加强槽液的循环搅拌。

4）在工艺范围内适当提高泳涂电压。

### 9.4.19　电泳涂装中水迹产生的原因是什么？

电泳涂膜烘干后，局部出现凹凸不平的水滴状缺陷，或因焊缝处烘出的液体呈现明显的流痕现象，称为水迹。电泳涂装中水迹产生的原因有：

1）槽液固体含量过高，冲洗水涂料含量也过高。

2）电泳后冲洗的去离子水量不够，冲洗不好。

3）电泳湿膜烘干前，表面的水珠未挥发掉或焊缝内的液体未被吹掉。

4）烘干时升温过急。

5）被涂物的结构不当。

### 9.4.20　如何防止电泳涂装中产生水迹？

1）适当降低槽液中的固体含量，定期更换冲洗液，降低冲洗水中的涂料含量。

2）冲洗的去离子水应足够，可以考虑增加浸式清洗工序。

3）电泳湿膜冲洗后烘干前增加吹水工序，吹掉表面的水珠和焊缝内的液体。

4）烘干时应严格按照工序，程序升温，切忌急剧升温。

5）改进被涂物的结构。

### 9.4.21　电泳涂装后耐蚀性差的原因是什么？

1）涂膜太薄。

2）涂膜有针孔缺陷。

3）磷化膜不均匀。

4）磷酸盐与树脂反应生成皂。

5）槽液中杂质离子多。

6）后处理用水含盐分较多。

7）烘干温度偏低。

### 9.4.22　如何解决电泳涂装后耐蚀性差?

1）适当增加涂膜厚度。

2）按针孔缺陷防止。

3）改进磷化工艺和操作。

4）改进磷化膜后处理。

5）槽液要及时净化清理。

6）严格控制后处理用水质量。

7）适当提高烘干温度或延长烘干时间。

## 9.5　产品使用过程中产生的涂膜破坏状态及防止措施

### 9.5.1　黄变产生的原因是什么?

浅色或白色漆膜短时间内出现黄色的现象叫做黄变。黄变产生的原因有：

1）涂膜长期处于日光和紫外线的直射下或在高温下，漆膜老化分解加速。

2）漆膜受碱性、硫化物或其他化学物质及水的浸泡等也会导致黄变。

3）涂料配方使用的某些原料性能不稳定，如某些白颜料，接受光氧作用时，在硫化合物或其他化学物质的影响下，导致化学反应而变色；某些粘结基料易于变色，如苯丙乳液因苯乙烯的存在，苯乙烯氧化导致涂膜黄变。

4）耐黄变油漆错配不耐黄变固化剂。

5）涂料中加入的催干剂、结皮剂等助剂过量，也容易黄变。

6）白色、浅色或清漆的漆膜，受热烘烤过久，温度控制不匀，可造成漆膜黄变。

7）底材被漂白处理过，残留在表面的氯化物导致漆膜黄变。

8）乳胶漆涂料同溶剂型涂料如聚氨酯涂料一起施工，乳胶漆受聚氨酯涂料的影响黄变。

### 9.5.2　如何防止黄变?

1）避免阳光直射或存放在高温环境下，在高温环境下应使用专门的高温漆。

2）漆膜应尽量避免受到化学物质的影响或水的浸泡，若必须在有化学污染源环境下使用，则应选用耐黄变的乳液及化学性能稳定的颜料生产耐黄变涂料。

3）固化剂选择应配套。控制助剂加入量。

4）烘烤型漆应注意控制烘烤温度和烘烤时间。

5）对底材进行严格处理，表面不允许有氯化物残留。

6）在涂装过程中，先涂刷溶剂型涂料，待干透后一段时间施涂乳胶漆涂料。

### 9.5.3　什么是失光或粉化?

涂料干燥成膜受气候环境等影响，表面光泽降低的现象，称为失光。在严重失光后，涂膜表面有粉末状物质析出，用手轻轻擦拭，就能掉下白粉的现象，称为粉化。其表现为：长期在户外使用的漆膜表面光泽下降，当严重失光后一般出现粉层，若用手触摸，便有细微粉状颗粒粘附在手指上，随着粉化过程的不断进行，漆膜将全部被破坏。

### 9.5.4　失光或粉化产生的原因是什么?

1）涂膜在使用过程中受到紫外线、氧气、水分、气温剧变的作用，涂膜老化，包裹在颜料颗粒表面的树脂被破坏，颜料游离出来而粉化。

2）涂料质量差，基料不足以包覆所有的颜填料粒子，部分颜填料粒子松散地堆积在涂膜中。

3）涂料中的颜填料选择不合理，未加入合适品种的助剂等。

4）涂膜未干透时，即受到雨、雾、化学物质、强烈日晒等的侵蚀。

5）颜料研磨不充分，未达到一定的细度。

6）底材疏松封闭不良，吸水过快，基料渗透，提高涂膜的 PVC 值。

7）在施工中，面漆过度稀释，粘度过低或涂膜厚度不够。

8）涂料施工低温、湿度大，或风大，成膜干燥慢，乳胶粒成膜性差。

9）墙面碱性过重，泛碱。

10）在新的涂膜上使用了太强的洗涤剂或清洗剂。

11）喷涂完后过早地进行抛光，使用了太粗的抛光蜡等。

### 9.5.5　如何防止失光和粉化?

1）被涂物尽量避免处于长期日晒雨淋、气温剧变的户外环境中，避免工业大气等腐蚀侵害。

2）选用优质涂料，涂料生产尽量提高不挥发体积分。

3）添加涂料的助剂有助于颜料的分散。

4）漆膜应具有一定的涂装间隔，在涂装完毕后，一般涂膜应有 2 个星期以上的保养时间，在此期间，避免受到雨、雾、霜、露的侵蚀，防止其他腐蚀介质的浸入。

5）涂料研磨得越充分，颗粒小、细度好，涂膜的光泽越高，越不易粉化。

6）选用优质封闭底漆，作好基底处理工作。

7）漆液的粘度要适中，遵守涂装工艺要求，保证合理的涂膜厚度。一般在室内涂装二道面漆，在室外需用三道外防腐面漆。

8）施工注意天气环境，不在恶劣的环境下施工。

9）刷涂墙面之前，应先做适当的处理。

10）不要在涂膜上使用太强的洗涤剂或清洗剂。

11）合理选择抛光蜡，并等待漆膜彻底干燥后再进行抛光。

12）对失光不太严重的涂层，可先用粗蜡研磨，再用细蜡抛光；如果失光比较严重，可将面漆轻微打磨除尘后，重新涂装；对出现粉化的情况，需用刷子等将粉层除去，直到露出硬漆膜的漆层，将表面打磨平整，除去尘屑后重新涂装面漆。

### 9.5.6　开裂产生的原因是什么?

漆膜在使用中，产生可目测的线状、多角状或不定状裂纹的现象叫做开裂。裂纹从小到大，从浅至深，最终导致漆膜完全破坏。开裂是一种较为严重的弊病。开裂产生的原因有：

1）涂料中固化剂或催干剂选择不适合或加入量过多，表层干燥速率太快。

2）底、面涂料不配套，造成底、面两层漆膜膨胀系数相差过大，易开裂。

3）底漆涂装过厚，未等干透就涂装面漆；面漆过厚，或在旧漆膜上修补层数过多的厚层，都易开裂。

4）涂料耐候性能差，力学性能不好，柔韧性不佳，涂膜在温度剧变或受到压缩外力时，容易开裂。

5）涂膜内部存在针孔、漏涂及气泡等缺陷，使漆膜承受应力，容易发生漆膜开裂。

6）底材处理不严格，表面有松脂、油、锈等污物；底材表面过于光滑，因附着力不好，出现裂纹。

7）基底有裂缝，或过于疏松和粗糙，处理不良，涂料稀释过量涂膜太薄，不能抗裂。

8）基材含水率高。

9）涂料施工温度过低，涂料受冻，或遇大风，涂层干燥成膜不良而致开裂。

10）漆膜长期处于日晒、雨淋和温度剧变的使用环境中，受气候氧化影响，漆膜失去弹性而开裂。

### 9.5.7 如何防止开裂？

1）正确选用固化剂、催干剂，加入应适量并搅拌均匀。

2）增强涂层之间的配套性，底、面涂层的膨胀性能应相近，配套采用“底硬面软”的原则，在容易开裂的场合加入片状或纤维填料。

3）涂膜一次涂装不能过厚（强调厚膜达到一定机械强度的除外），涂装应有一定的涂装间隔，底漆要干透。

4）选用耐候性良好的涂料作为外用面漆，涂料的力学性能应良好，柔韧性 1～2 级，抗冲击强度达到40N · mm 以上。

5）避免涂膜内部产生针孔、气泡等缺陷。

6）加强底材的处理，底材不仅要脱脂、除锈等，还应有一定的表面粗糙度，必要时用细砂纸轻微打磨，木材有松脂部位应铲除后用乙醇擦拭干净，涂虫胶清漆封闭后再涂装。

7）彻底处理基材，作好基底防水层，施工前对基底进行修补，保证基底条件合乎施工要求。

8）让底材含水率与当地基材含水率一致。

9）在恶劣的气候下施工，应确保施工温度在 15℃以上。

10）防止涂膜长期处于严酷的腐蚀环境中，避免在温度过高、过低或温度急剧变化的场合使用；漆膜一定要干透，经过至少两个星期的保养后，再放入腐蚀环境。

11）若漆膜已轻度起皱，可用水砂纸打磨平后重涂；对于肉眼可见的裂纹，涂膜已失去保护功能，应将失效漆膜全部铲除，重新涂装。

### 9.5.8 什么是剥落？

一道或多道涂层脱离其下涂层，或者涂层完全脱离底材的现象称为剥落，也称为脱层或脱皮。小片剥落称为鳞片剥落或皮壳剥落；上、下涂层之间的剥落称为层间剥落。

### 9.5.9　剥落产生的原因是什么?

1）被涂物面不清洁，底材表面上残留有油、水、蜡、硅油、脱模剂、锈蚀、氧化皮等污物。

2）涂料中渗有油分、水分等。

3）底、面漆不配套，导致层间结合力差，此类现象在硝基、过氯乙烯、乙烯类等涂料中出现较多；底漆含有硅油类助剂，影响重涂涂膜的浸湿结合力。

4）涂料附着力不佳，存在层间附着力不良等弊病。

5）基底或腻子碱性过高，不停地泛碱，导致涂膜起皮脱落；基底层疏松、脏污、渗水有潮气；基底层表面过硬和光滑，面涂附着力差；基底未干透就涂面漆或罩清漆。

6）烘烤时，工艺控制不佳，烘箱温度过高或时间过长。

7）漆膜太薄。

8）底漆涂刷后，暴露时间过长，有粉化存在。

9）腻子直接涂刮在没有涂底漆的表面，或腻子强度低，耐水性差，腻子吸水膨胀或失去强度和附着力，导致剥落。

10）在高温或腐蚀性大气条件下的涂膜极易产生剥落。

11）施工时气温过高，高于 35℃，或在有风的天气涂装，或在低温下涂装，都可导致涂膜干燥过快，成膜不充分。

### 9.5.10　如何防止剥落?

1）涂装前要进行严格的表面预处理，强化脱脂效果；磷化膜要细致，不宜太厚。

2）涂料中严防渗入水和油。

3）增强底、面漆的配套性，在施工工艺中采用“过渡层”施工法或“湿碰湿”工艺；重涂时也需考虑。

4）选择附着力强和润湿性好的涂料，在严酷腐蚀环境中使用的底漆，附着力应达到 1 级；涂料中可加入增强附着力的助剂。

5）涂料配方设计要求有良好的耐水性、耐碱性，硅溶胶的添加可大大增强涂膜的耐碱性；改善涂料附着力，过于光滑的底材要经打磨处理；层间要打磨至表面毛玻璃状；涂装前应确保底材干透，对基底做好防水封闭处理。

6）严格按照施工工艺规范操作，把握好涂装工艺的顺序和涂装间隔周期，掌握好烘烤工艺条件，防止过度烘干。

7）保持一定的漆膜厚度，不可过薄。

8）在水泥类墙面涂装前，先刷清油，再嵌刮腻子，然后涂装涂料；对塑料和橡胶，不仅要用砂纸等打磨底材，还应选用相应的专用涂料品种。

9）若漆膜整张剥落，应铲去该漆膜，重新涂漆；对局部出现弊病的涂膜，可酌情修补后，再重涂面漆。

### 9.5.11　什么是锈蚀?

锈蚀是指漆膜下面的钢铁表面出现红丝和透过漆膜的锈点的现象，前者称为丝状腐蚀，后者称为疤状腐蚀。锈蚀常伴随有漆膜的起泡、开裂、剥落等弊病。其表现为：早期涂膜透黄色锈点，有时出现起泡，泡内含液体、气体等，而后涂膜破裂，出现点蚀、

丝状腐蚀直至孔蚀。

### 9.5.12　锈蚀产生的原因是什么?

1）所用涂料耐蚀性差，耐候性差，或配套不当。

2）底材预处理差，铁锈、酸液、盐水、氧化皮等未彻底清除，日久锈蚀蔓延；磷化处理不完全或磷化膜与涂层配套不佳也可能引起锈蚀。

3）表面处理后未及时施工，被涂物在空气中再次生锈，特别是在阴雨、潮湿天气下施工更易出现此情况。

4）漆膜偏薄，未达到防腐所需的总干膜厚度，水分和腐蚀介质容易透过涂膜到达金属表面，导致生锈。

5）底漆质量差，水和氧气易于穿过涂膜到达金属表面。

6）涂膜不均匀、不完整，有针孔、气泡、漏涂等缺陷，涂膜划伤处未被涂覆。

7）在使用外加电流进行保护时，保护电位过高，船舶等停泊水域内有杂散电流或用电时供电线路不正确、焊接等造成的电腐蚀。

8）涂层所处环境差，如高温、高湿、有腐蚀介质的侵蚀等。

### 9.5.13　如何防止锈蚀?

1）根据被涂物所处的环境选择耐蚀性和耐潮湿性优良的涂料。

2）涂装前应将底材彻底处理干净，包括脱脂、除锈、除酸、磷化、钝化等处理，其中除锈要达到 Sa2.5 级以上的标准；磷化处理要完全且与涂层有良好的配套性。

3）表面预处理后，要及时涂装防锈底漆；对于采用高压水除锈或在阴雨天施工等情况，要涂装专用的带湿、带锈底漆。

4）涂层需达到一定的干膜厚度，一般防腐涂层的总干膜厚度要达到 200μm 以上，并按配套原则进行涂装；漆膜涂装后，要经过两个星期的保养，在此期间应避免处于腐蚀环境中。

5）底漆质量要有保证。

6）确保涂层的完整性，可用漏电检测仪检查涂膜是否有漏涂，特别注意边角、焊缝处的涂装，防止在施工中出现“针孔”“气泡”等弊病；要防止涂膜的机械损伤，涂膜刮破后，要及时修补。

7）防止电腐蚀。如对水上船舶焊接时，要杜绝单线供电；将保护电位降低，选用阴极保护涂料；防止杂散电流等。

8）尽量避免涂膜长期处于高温、高湿、有腐蚀介质等的严酷环境中，或使用相应的防腐蚀涂料，并保证处于保护年限内。

9）对出现局部锈点的，要及时清理并修补；当出现大面积锈蚀时，应铲去涂层，将锈蚀打磨除净后重新涂装。

### 9.5.14　什么是长霉?

漆膜表面滋生各种霉菌的现象称为长霉，也称为生霉或霉染。其表现为：漆膜处于湿热等环境中，漆膜表面局部或全部生长肉眼可见的霉菌斑点，影响外观。常见于水性建筑涂料。

### 9.5.15 长霉产生的原因是什么?

1）涂料本身的防霉性不好，涂膜的耐水性、耐湿热性不佳，有水气等腐蚀介质渗入漆膜。

2）涂膜所处环境潮湿，温度适中，空气流动不畅。

3）涂料过度稀释、涂膜过薄，都可减弱涂膜的防霉功能。

4）所用涂料的基料或底材本身可能是霉菌的养料，在水溶性涂料中，酪蛋白、大豆蛋白质、藻阮酸、淀粉、天然胶、纤维素衍生物及某些助剂（如乳化剂或消泡剂）都为微生物的生长提供了条件。

5）在涂料生产和施工过程中，霉菌和污物混入。

6）涂漆前底材预处理不充分，没有将基材或旧涂层上的霉菌处理干净。

7）砖石或木材在涂装前未打底。

8）涂层在使用过程中不经常清洗维护，积累在涂膜表面的灰尘带有养分，在潮湿处为霉菌或藻类提供生长繁殖所需的营养。

### 9.5.16 如何防止长霉?

1）选择防霉性能好的涂料，在特别恶劣的环境，应用特别配方，添加涂膜防霉剂，增强涂膜防霉抗藻能力。在容易生霉的环境中，选用溶剂型涂料，可大大降低涂料的霉变。

2）避免涂料长期处于污染环境中，保证房屋的通风并防潮。

3）涂料不可过稀，涂料的配套应按照工艺设计要求，并达到一定的干膜厚度。涂料的封闭耐水性、耐沾污性能要好，防止腐蚀介质的侵入和附着。

4）涂料中促进霉菌生长的物质少加或不加，加入防霉剂、杀菌剂对涂膜的防霉作用效果显著。一般采用物理掺混法混入涂料，用量为涂料总量的1%左右。

5）在涂料生产和涂装施工过程中，设备要清洗干净，不要让腐败部分污染好的部分，尽量减少空气中灰尘的污染等。

6）要做好底材的处理，用杀菌水处理基底，墙面要涂封闭涂层并打好腻子，砖石或木材应打底。

7）涂膜表面应经常清洗维护，减少灰尘的附着。

8）对霉变漆膜，少量几个霉点可铲去后修补；一般都应将涂层铲去，进行表面处理后，重新涂装。

### 9.5.17 什么是沾污?

沾污是指生漆膜表面上出现与大部分表面颜色不相同的色斑或沾附着尘埃和污物等的现象，也称为斑点、污点。其表现为：漆膜由于液体、油污或腐蚀性气体等的侵入，导致漆膜发粘、溶胀，硬度明显降低，同时漆膜表面部分失去光泽，发生变色，并粘附污物。

### 9.5.18 沾污产生的原因是什么?

1）涂料本身封闭性能不佳或漆膜厚度不够，腐蚀介质（特别是油污、酸碱等）易于渗入，造成漆膜软化变色。

2）所用颜料不耐碱或易长霉。

3）涂膜表面粗糙度值太大，容易粘附污物。

4）漆膜在使用中析出异物（如发汗）。

5）漆膜在使用过程中受热软化或回粘。

6）环境中污染物过多，涂膜长期处于腐蚀性环境中，受环境中污物（如灰尘、水泥灰、煤烟、焦油、酸性物质、昆虫和鸟类的粪便等）的侵入、沾污。

7）对处于海洋环境中的船舶等，船底涂覆的防污漆使用寿命已到，或防污漆涂前未调均匀，厚度不够，选择品种有误等均会产生沾污。

### 9.5.19 如何防止沾污？

1）采用具有防腐效果的涂料，并达到工艺要求的总干膜厚度。涂料要在完全干透后，经过一定的保养时间，再投入使用。

2）选择耐碱性、抗霉性好的涂料。

3）表层面漆的表面粗糙度值要小，足够致密。选用的涂料细度越细，表面粗糙度值越小；同时可适当加入少量流平剂或分散剂（质量分数为 0.1% ~1%）来提高涂料的流平性能和粗糙度等级。

4）尽量选用在使用中不受热回粘、不软化、不析出异物的涂料。

5）避免将涂膜长期放置在腐蚀性气体环境中或污染源附近。

6）对浸没于海洋环境中的船舶等的表面，要涂装防污漆，寿命已到的要重新涂装，防止海洋生物的附着；防污漆涂前要调均匀；防污漆漆膜应达到一定厚度，并要涂覆均匀；涂装品种可根据使用要求进行选择，一般对于航行的船舶，采用自抛光防污漆，而对长期固定不动的物件，应涂装含毒料的防污漆。

7）对于表面有沾污的涂膜，在对涂膜保护效果无影响的前提下，可用适当稀释剂将沾污擦去，对船底的海洋生物可用高压水冲刷或刮除；漆膜出现破损等情况的要及时修补；当漆膜已软化发粘，需将失效漆膜除去并重新涂装。

### 9.5.20 什么是墙面泛碱？

墙面泛碱是指干净平整的涂膜被雨水润湿后，雨过天晴时，涂膜表面泛出白色粉末状物质，出现墙面风化现象。该层粉末可以轻轻除去，但粉末物质会再三泛出。泛碱导致涂层颜色不均，涂膜起皮、开裂、剥落，缩短涂层的保护寿命。

### 9.5.21 墙面泛碱产生的原因是什么？

1）基材中碱性盐类物质的存在，基材碱性太高或地基为盐碱地基，或腻子质量太差，或选用高碱性水泥等。

2）封闭底漆封闭性差，不耐水和碱。

3）墙体内部聚有水分，通过外墙表面逸出。

4）外墙面漆的抗雨水渗透性差，大量雨水渗入，在雨过天晴后，水气往外蒸发，水蒸气将墙体内可迁移的碱性物质一起带出涂层，在表面碳化成盐沉积在涂膜表面。

### 9.5.22 如何防止墙面泛碱？

1）降低墙体碱性，保证新墙面基材的 pH 值小于 10。对高碱性墙面使用质量分数为 10% 的草酸溶液洗刷中和，再用清水冲洗墙面，干燥后涂刷封底涂料。

2）加强对底材的封闭：选用渗透封闭作用强的封闭底漆，溶剂型封底漆封闭性最

好，乳液-硅溶胶复合体系封闭底漆有很强的封闭作用。硅溶胶为纳米级粒子，对基材的渗透性好。硅溶胶成膜后，成为二氧化硅立体网状结构涂膜，不水解粉化、不降解，封闭作用持续时间长，且硅溶胶析出时活性强，与基材中碱性物质氢氧化钙反应生成硅酸钙，降低基材碱性，同时增强涂层的附着力。

3）寻找并杜绝水分的源头。

4）增强外墙面漆的抗雨水渗透性，保证涂膜防水和抗雨水渗透；增强涂膜的疏水性，减少雨水的渗透，从而减少泛碱。

# 第 10 章　涂装的污染治理及安全技术

## 10.1　涂装废水的治理

### 10.1.1　涂装废水的种类有哪些?

涂料工业中废水的种类很多，且含有多种有害成分。例如，表面预处理的酸洗过程中通常使用硫酸等强酸进行清洗，因此，产生的废水中含有硫酸、硫酸亚铁和其他杂质；在磷化、钝化的废水中往往带有铬、镍离子等杂质；喷涂室中的废水通常含有有机溶剂、重金属、助剂和各种尘屑；而电泳涂装的废水常含有水溶有机物与颜料等。

### 10.1.2　废水治理的方法有哪些?

1. 凝集沉淀法

由于浑浊的废水一般都具有胶体溶液的性质，都带有负电荷，并且胶体粒子表面有扩散双电层，所以使粒子间具有同性电荷的排斥作用而稳定地漂浮在水中。

凝集沉淀法的原理就是向废水中加入絮凝剂，降低胶粒表面电位，使扩散层变薄，使胶粒的布朗运动足以克服表面双电层电位的束缚，从而使胶粒之间易于碰撞凝集成大尺寸的团絮物，且团絮物还具有强烈的吸附性，故能同时除去水中的无机物、有机质、细菌、微生物等污染物。

2. 上浮分离法

对于凝集物密度比水轻的场合适于采用上浮分离法。上浮分离法又有两种情况：一是通过加压，在凝集物上附着大量气泡而上浮，称为加压上浮分离；二是靠自身密度差上浮，称为重力式上浮分离。

（1）重力式上浮分离　适用于含油废水的油、水分离。分离槽容量依油的上浮速度和废水处理量所确定，通过浮油捕集装置，将油排入废油贮槽。

（2）加压上浮分离　对于待分离物密度与水密度相差较小的废水，则往往采用加压上浮来加快污染物的上浮速度。以 294～490kPa 的压力，将空气充入废水中至饱和，然后将其释放至常压，使溶解的空气以气泡析出，并附着在废水中的团粒上而上浮，分离速度比沉降速度高几倍，并且分离槽的有效面积较小。

3. 离子交换法

离子交换法就是采用离子交换树脂，对废水中的阴、阳离子污染物进行分离的方法。离子交换处理废水，其离子交换树脂容易受废水中的沉淀、胶质和有机物吸附、沉积而劣化。因此在处理程序上必须先经过滤塔和活性炭吸附塔进行预处理、澄清，然后用串联的阴、阳离子交换塔除去离子污染物。涂装作业过程中的六价铬就可以采用该流程完全除去，离子交换也是涂装生产所需纯水的主要制取方法。

4. 膜分离法

膜分离法主要包括超滤、反渗透和电渗析三种：

（1）超滤　超滤就是利用微孔状高分子膜，对溶液加压来实现膜分离的技术。该半透膜可截流胶体、悬浮物、蛋白质及相对分子质量在 5000 以上的高聚物，或粒径在 $1\sim10^4$nm 的颗粒。在涂装生产中主要用于电泳槽液的分离，以实现电泳后冲洗水的闭路循环。电泳涂装的超滤装置由膜组件、泵、管路和仪表组成，另配置预滤和膜冲洗系统，以保证超滤装置的长期正常运行。膜组件主要采用管式和中空纤维两种，超滤波流量为 2～50L/（$m^2$·h），压力 294～588kPa，一般采用 441kPa。

（2）反渗透　反渗透就是利用半透膜，对浓度较高的溶液施加压力（大于膜渗透比）使浓溶液中的水向低浓度溶液渗透。如果膜的一侧是纯水，则通过反渗透使溶液中的水不断地渗透到纯水中，故反渗透主要用于纯水制备。

（3）电渗析　在电场作用下，通过离子交换膜对溶液中阴、阳离子选择性透过，使溶质和溶剂分离。电渗析主要用于海水淡化、产品脱盐提纯。它具有高浓缩率的特点，因而多采用浓缩回收手段来实现分离的目的。

### 10.1.3　涂装产生的废水如何进行三级处理？

（1）一级处理　用机械方法或简单化学方法进行预处理浮物沉淀，并中和酸碱度。

（2）二级处理　采用生物处理或添加凝集剂，使可分解、可氧化有机物经生化处理而消除；或使油物、悬浮物经破乳、凝集而分离。

（3）三级处理　采用活性炭吸附、离子交换、电渗析、反渗析和化学氧化等对难分解、难处理的有机物、无机物作深度处理，经三级处理，可使废水、废液都能达到排放标准。

对于表面预处理废液，一般经二级处理，基本上都可达到排放标准。

### 10.1.4　金属材料涂装预处理产生的废水种类及各自更换周期？

涂装前金属材料表面需要预处理，处理工序主要有酸洗、碱洗、表调、磷化及钝化封闭后处理。

在使用过程中，各处理液的功能将不断下降（或者失效），为了维持正常生产，保证产品质量，必须定期更换槽液。槽液可能整槽倒掉，也可能是排出一部分，并补入新液。不同种类处理液的更新不尽相同，但更换周期大致如下：

1）脱脂液 1 星期。

2）酸洗液 7～10 天。

3）磷化液 2～3 次/年。

4）表调液 7～15 天。

5）后处理液 10～15 天。

除这些废液之外，还有各道工序后的冲洗废水，它们的污染物浓度要比相应废液低得多，但冲洗水的消耗量和排放量却很大。

### 10.1.5　金属材料涂装预处理产生的各类废水如何治理？

1. 碱性脱脂废液

碱性脱脂废液含氢氧化钠、硅酸钠、碳酸钠、三聚磷酸钠等碱性物质，以及表面活

性剂和少量有机溶剂，另外还含有机械油、防锈油脂等悬浮物。因此，主要处理项目是 pH、悬浮物、BOD、COD、含油量等。

废液浓度较低时，采用 $H_2SO_4$、HCl 进行中和即可，或者用酸洗废液进行中和，使 pH 为 6～9。存在于液面的油污，可直接溢流分离。但在废液中，仍有大量的油污呈白色乳化状态分散，必须采取破乳、油水分离、水质净化的方法。

2. 酸洗废液

酸洗废液含 $H_2SO_4$、HCl、$H_3PO_4$ 等酸质、少量的有机缓蚀剂，另外也可能含有络合剂、酸雾抑制剂、润湿剂等辅助施加剂。除此之外，还有相当量的被溶解金属离子（主要是铁离子）及少量的油污和悬浮物。相对于碱洗废液来说，酸洗废液中的有机质浓度是比较低的，因此主要处理项目为 pH、悬浮物及金属离子。

酸洗废液的酸度很高（pH 值不大于 1），可用石灰乳、$CaCO_3$、$Na_2CO_3$、NaOH 进行中和至 pH 值为 6～9。此时金属离子也形成氢氧化物而沉淀析出。对于悬浮物的处理可采用凝集剂凝集沉淀和破乳分离。

3. 磷化处理废液

磷化废液 pH 值为 2.5～5，主要含 $PO_4^{3-}$、$Zn^{2+}$、$Fe^{2+}$、$Mn^{2+}$、$Ni^{2+}$、$Ca^{2+}$ 等金属离子，柠檬酸、氟化物等络合剂及 $NO_2^-$、$ClO_3^-$、$NO_3^-$ 等氧化剂。它的主要处理项目是 pH 值、悬浮物、$PO_4^{3-}$ 及金属离子。采用石灰乳中和，即可大部分除掉。在 pH 值为 6～9 条件下，$PO_4^{3-}$、$F^-$ 和 $Zn^{2+}$、$Fe^{2+}$、$Mn^{2+}$、$Ni^{2+}$、$Ca^{2+}$ 都形成难溶磷酸盐和 $CaF_2$ 沉淀。若同时采用凝聚剂，有助于淤浆凝集脱水，提高过滤效果。

4. 表面调整废液

表面调整废液主要是 $PO_4^{3-}$ 和 $TiO^{2+}$，其 pH 值小于 9，为弱碱性。主要处理项目是磷含量，它的浓度远低于磷化液，处理方法同磷化液。

5. 钝化封闭废液

钝化封闭液主要含六价铬，处理项目为 pH 值、$Cr^{6+}$、$Cr^{3+}$、悬浮物。

首先加硫酸酸化，添加亚硫酸钠使六价铬还原成三价铬，再经碱中和、凝聚沉淀、过滤除渣。

各种冲洗水的废水部可按照以上相应化学处理废液情况进行处理。一般来说，水洗废水浓度都较低，通常用简单处理即可。

### 10.1.6　如何处理电泳涂漆废水？

在电泳涂漆以后，尽管采用超滤闭路循环冲洗，但最后的去离子水洗要定期排放，排放水中含 0.3%～0.4%（体积分数）固体含量的电泳漆胶体物，pH 值为 6.5～7.0，在该 pH 值下，胶体处于稳定状态，需要采取相应措施净化分离。为了避免胶质在排水网路中凝集、沉淀而堵塞，直接将电泳废水排入转移池，再经由涡流反应器、气浮装置、PE 微孔过滤器、板框压油机，将胶质物分离。

在涡流反应器中，加入无机高分子混凝剂凝集并离心沉降，沉渣定时排入污泥槽，清液流入气浮装置。反应器的搅拌速度以絮凝剂能被混合均匀，又不至于团絮物被打散为宜，有利于沉淀。适宜范围为 100～300r/min。反应器的上层清液，仍含有密度较轻的颗粒，故在气浮槽再一次加入无机、高分子混凝剂，生成的絮凝物与溶气释放器释放

出来的含有大量气体的溶气与水充分接触，使团絮体形变大上浮，由刮渣机将浮渣排入污泥槽中。

气浮以后的清液再经 PE 微孔过滤器精细过滤送入下水管路，进行二级处理。

污泥槽的污泥由泥浆泵送入板框压滤机压滤，然后按团体废弃物处理法治理。

按此工序处理的电泳废水，固体物去除率达 99.8%，治理后水中悬浮物不大于 50mg/L，COD 为 400～600mg/L，pH 值为 7～8。占地 $50m^2$ 的整套装置，废水处理量 5t/h，处理费用在 0.9 元/t 以下。

## 10.2　涂装作业场所的安全卫生

### 10.2.1　表面预处理作业场所的污染源有哪些?

表面预处理作业场所的污染源来自表面预处理作业过程各个工序所用的有害材料。

1）脱脂和除旧漆常用有机溶剂往往含有苯或苯的同系物，如氯代烃类溶剂、汽油和二甲苯及丙酮等。这些溶剂不仅是有害有毒物质，同时还属于易燃易爆物质，给预处理作业带来不安全因素。化学方法中常用的硫酸、盐酸、硝酸和磷酸液等存在着防腐蚀安全因素，且废酸排放和酸洗除锈及磷化处理后，冲洗水属于超过排放标准的废水，必须经治理后才能排放。

2）机械方法除锈，如采用机动工具除锈、抛丸除锈和喷丸除锈时会有大量粉尘散逸。同时，粉尘静化和酸雾排放及其净化及有机溶剂脱脂等，都需要用机械通风，而所配备的风机和风管将成为主要噪声源，要求进行噪声治理。

3）船舶行业、冶金行业及重型机械行业，在二次除锈作业中，当含锌的保养底漆（又称车间底漆）遇上车间内的焊接作业时，会产生锌蒸气，操作者面临患锌中毒职业病的危险。尽管二次除锈作业中对保养底漆厚度有严格限制，但这种锌职业病对人的危害仍然很难避免。

### 10.2.2　涂装作业场所的污染源有哪些?

在采用溶剂型涂料的涂装施工过程中，散发在空气中的有害物，主要是从涂漆流平、干燥各阶段所散发的有机废气，以及喷涂过程中散发的固体漆雾粒子（树脂、颜料、填料）。

1）喷涂、流平及干燥阶段，油漆溶剂挥发量见表 10-1。

**表 10-1　涂装施工中不同阶段的油漆溶剂挥发量**

| 涂料名称 | 溶剂挥发量(%) | | |
|---|---|---|---|
| | 喷涂阶段 | 流平阶段 | 干燥阶段 |
| 挥发型漆(过氯乙烯漆、硝基漆) | 60～80 | 10～30(最初 5min) | <10 |
| 氧化聚合型漆(醇酸漆) | 30～40 | 40～60(其中 40% 在最初 5min 挥发) | — |
| 氨基烘漆 | 30 | 60%(在 15min 内挥发) | 10 |

2）从涂装作业场所排出的废气中，污染大气环境的有害物质有三类：①可产生光

化学烟雾的有机溶剂（二甲苯、甲乙酮等）；②排出的恶臭、涂料挥发物、热分解生成物及反应生成物（丙烯醛、甲醛）；③涂料粉尘。

这些排出物的种类和数量随涂料品种、使用量和使用条件而异。油漆车间排气的发生顺序如图 10-1 所示。

### 10.2.3 涂装预处理作业场所有哪些安全卫生措施?

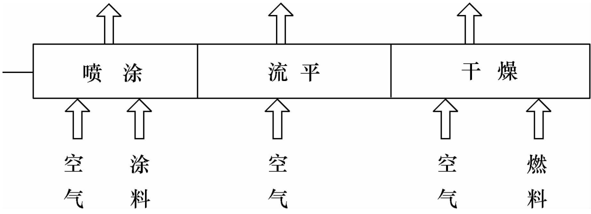



图 10-1　油漆车间排气的发生顺序

1）车间（工段）涂装预处理作业场所的区划位置应在厂区夏季最小频率风向的上风侧，并应与生产过程相衔接的钣焊、机械加工、装配车间及金属材料库、成品库等封隔。

2）车间（工段）涂装预处理作业场所可布置在单跨单层建筑物内，当不得不布置在多跨建筑物内时，应一侧近外墙，并与相毗邻的生产部门封隔。

3）采用有机溶剂进行脱脂清洗和清除旧漆的预处理作业场所，属于乙类火灾危险区域，并应有泄压面积，其大小可按照作业场所空间容积确定，每立方米空间不小于 0.05～0.22$m^2$ 与相邻生产车间接筑物防火间距，建筑物防爆及消防车道等应符合《建筑设计防火规范》的规定。

4）预处理作业场所及其周围 15m 范围内，严禁堆积易燃、易爆和可能发生意外事故的物料和制品。

5）机械方法除锈或清除旧漆，必须设置独立的排风系统和除尘净化系统排放至大气中的粉尘含量，应不大于 150$mg/m^3$。

6）车间（工段）预处理作业场所应设置更衣室、休息室和吸烟室，并在其附近设置（车间）浴室和事故应急冲洗用水，供水压力不高于 $1.76\times10^5$Pa，配有快开阀门和长度 1.2m 以上软管。空气喷涂、无气喷涂作业车间的卫生特征级别应为二级。

### 10.2.4 涂装作业场所有哪些安全卫生指标?

（1）温度和湿度　不同涂料由于其本身挥发性及施工性能均不同，因此涂漆时的温、湿度要求也各不相同，一般合适的温度可在 20℃以上，湿度为 70%以下。几种涂料涂漆时适宜的温、湿度要求见表 10-2。

**表 10-2　几种涂料涂漆时的适宜温、湿度**

| 涂料名称 | 温度/℃ | 相对湿度(%) | 备　注 |
|---|---|---|---|
| 油性漆 | 15～35 | <85 | 低温不好 |
| 油性清漆磁漆 | 10～30 | <85 | 气温高好 |
| 醇酸树脂涂料 | 10～30 | <85 | 气温高好 |
| 虫胶清漆 | 10～30 | <75 | 过湿不好 |
| 各种贴花用漆 | 20 | <75 | 中等温、湿度为宜 |
| 水性乳胶漆 | 10～35 | <75 | 低温,过湿不好 |
| 硝基漆 | 15～20 | <70 | 低温,过湿不好 |

（2）采光和照明　涂装作业场所为增强辨色性，应尽可能用自然采光。当窗户面积为照射面积的 1/5 以上时，可获得较好采光。

车间（工段）涂装作业场所的天然光照度最低值为 50lx，采光系数最低值为 1%；磷化膜、钝化膜和阳极氧化膜质量检测区域的室内天然光照度最低值为 100lx，采光系数最低值为 2%。

车间（工段）涂装作业场所，当采用混合照明时，最低照度为 150lx，采用一般照明时，最低照度为 50lx，磷化膜、钝化膜和阳极氧化膜质量检测区域内，当采用混合照明时为 500lx，一般照明时为 150lx。

漆膜、磷化膜的检查一般需要局部照明，但应注意荧光灯因其光流有较大周期脉动，易引起眩目，并且显色力差，一般不作为局部照明光源，涂装作业适宜的作业照度要求见表 10-3。

**表 10-3　适宜作业照度的要求**

| 作业类别 | 操　作　内　容 | 照度/lx |
|---|---|---|
| 精密 | 手工涂漆、汽车面漆、漆膜检验 | 800 ~ 300 |
| 较精密 | 一般产品、车辆、木器涂漆 | 300 ~ 150 |
| 普通 | 预处理 | 150 ~ 70 |

（3）尘埃的允许度　涂装作业场所对尘埃应予以限制，因为尘埃量增加，会影响涂膜质量。涂装作业场所空气中的尘埃可用空气洁净度来度量，见表 10-4。

**表 10-4　涂装作业场所空气洁净度**

| 作业类别 | 作业举例 | 空气洁净度要求 | |
|---|---|---|---|
| | | 洁净度等级 | 尘粒总数 |
| 要求较高的装饰性涂漆 | 家用电器外表面、医疗器械外表面 | 10000 | ≥0.5μm 尘粒总数≤350 粒/L |
| 高装饰性涂漆 | 电视机塑料外壳、一般轿车 | 1000 | ≥0.5μm 尘粒总数≤35 粒/L |
| 精饰性涂漆 | 高级轿车 | 100 | ≥0.5μm 尘粒总数≤3.5 粒/L |

（4）有害物质最高允许浓度　涂装作业场所空气中有害物质的最高允许浓度应遵循《涂装作业安全-涂漆工艺安全》和《涂装作业安全-涂装预处理工艺安全规程》的规定。常见的有害物质的最高允许浓度见表 10-5。

（5）有害物质的允许排放量　为保持涂装作业场所的安全卫生条件，除了控制有害物质在作业场所空气中的最高允许浓度以外，还必须控制有害物质从涂装作业场所向大气的排放。

表 10-5　常见的有害物质的最高允许浓度

| 编号 | 物质名称 | 最高允许浓度/(mg/$m^3$) | 编号 | 物质名称 | 最高允许浓度/(mg/$m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 乙醚 | 500 | 15 | 环己烷 | 100 |
| 2 | 二甲苯 | 100 | 16 | 苯(皮) | 40 |
| 3 | 二硫化碳(皮) | 10 | 17 | 苯乙烯 | 40 |
| 4 | 甲苯二异氰酸酯 | 0.2 | 18 | 氧化锌 | 5 |
| 5 | 丁二烯 | 100 | 19 | 铅尘 | 0.05 |
| 6 | 三氧化铬、铬酸盐、重铬酸盐(换算成 $CrO_3$) | 0.05 | 20 | 酚(皮) | 5 |
| | | | 21 | 锰及其化合物(换算成 $MnO_2$) | 0.2 |
| 7 | 丙酮 | 400 | 22 | 氯苯 | 50 |
| 8 | 甲苯 | 100 | 23 | 三氯乙烯 | 30 |
| 9 | 吡啶 | 4 | 24 | 溶剂汽油 | 350 |
| 10 | 有机汞化物(皮) | 0.005 | 25 | 乙酸乙酯 | 300 |
| 11 | 松节油 | 300 | 26 | 乙酸丁酯 | 300 |
| 12 | 环氧氯丙烷(皮) | 1 | 27 | 丙醇 | 200 |
| 13 | 环氧乙烷 | 5 | 28 | 丁醇 | 200 |
| 14 | 环己酮 | 50 | 29 | 四氯化碳(皮) | 25 |

### 10.2.5　涂装作业场所还有哪些其他安全卫生措施?

1）车间（工段）涂装作业场所的地面应平整防滑，易于清扫，并配置冲洗地面和墙壁的设施。经常有酸碱液流散或积聚的地面，应采用耐腐蚀材料敷设，不透水，并坡向厂区排污系统，车间（工段）内不得积水。

2）车间（工段）涂装作业场所的围护结构的内壁应勾缝喷白，当采用有机溶剂清洗脱脂时，与相邻生产部门的封隔墙应采用防火墙，作业场所的门窗应向外开，主要出入口附近不应放置槽、罐、桶及其他容器等堆放场地，防止出入口堵塞。

3）车间（工段）涂装作业场所内带有易燃易爆物料的设备，工艺管道及其排风管道等必须可靠接地，并严禁乱接临时电气管线。涂漆作业车间应有两个出入口，且保持畅通。

4）涂装作业应在专门设置的房间或厂房内进行，或在指定的涂漆区内进行。

另外，不得在集会、教育、住宅等公共场所附近设立涂漆车间或工厂，但对以上公共场所进行装修需涂漆者除外。大型工件、设备（如机车车辆、客车、飞机、大型机械设备）的涂漆作业的整个厂房内都应划为涂漆区。

### 10.2.6　密闭空间内涂装作业的安全卫生措施有哪些?

密闭空间是指仅有出口和入口所围成的空间，如贮槽、地下工程、船舱等；或顶部开敞而深度大于 1.2m 自然通风不良的空间，如地窖、容器等，或通常只有一个入口的

空间。密闭空间内的涂漆作业，是对密闭空间本身或设在密闭空间内的固定设备、设施等进行装修。密闭空间内涂装作业安全卫生措施如下：

1）密闭空间内不得作为外来制件的涂装作业场所。

2）密闭空间只有一个出入口时，宜增开一个工艺口。进入密闭空间进行涂漆作业前，必须办理进入手续。涂漆作业人员进入密闭空间前，应进行空气检测并通风，使密闭空间内空气中氧含量不低18%（体积分数），可燃性气体浓度应低于爆炸下限的10%（体积分数）。

3）涂漆作业时，要在密闭空间入口处张贴“未经准许不得进入”的标志，严禁未经准许的人员、车辆进入。

4）当密闭空间内需要使用木质脚手架时，应固定牢固，涂漆作业人员在1.5m以上的高空作业时，须系安全带。

5）涂漆作业前，应对通风系统和照明系统进行如下检查：①通风系统是否符合要求；②密闭空间内的照明线不应有接头；③照明电缆内的电流、电压不应超载；④照明线路应悬吊、无破损、无摩擦和无过分受力；⑤照明必须采用防爆型，照明线路必须采用悬吊架设，避开作业空间；⑥局部照明必须采用电池电源矿灯或手提式照明灯；⑦临时照明灯除应符合上述规定外，还必须采用安全绝缘钱或重型软皮线（胶皮线），线与灯的连接必须安全、绝缘、可靠。在没有照明又没有临时照明灯的情况下，不准任何人进入密闭空间。严禁使用火柴、打火机等明火照明。

6）若进入深度超过1.2m，只能容一人操作的密闭空间，最少有两人作预防性防护，除与作业人员取得联系外，还应在作业人员腰部系一条保险绳，绳的另一头交作预防性防护的人，以防意外，便于急救。

7）涂漆作业完成后，剩余的涂料、溶剂、浸有溶剂和工具等物应全部清理出密闭空间，放到指定地点。涂漆作业完成后，密闭空间内应继续通风。

## 10.3　涂装防毒安全技术

### 10.3.1　涂装过程中为什么要注意防毒？

在涂料生产和施工过程中，使用的溶剂和某些颜料、助剂、固化剂等是严重危害作业人体的有害物质。例如，苯类、甲醇、甲醛等溶剂的蒸汽挥发到一定浓度时，对人体皮肤、中枢神经、造血器官、呼吸系统等都有刺激和破坏作用。铅（烟、尘）、铬（尘）、粉少、氧化锌（烟雾）、甲苯二异氰酸酯、有机胺类固化剂、烘焦沥青、氧化亚铜、有机锡等均为有害物质，若吸入体内容易引起急性或慢性中毒，促使皮肤或呼吸系统过敏。各种有害物质均有其特性，毒性也不一，在空气中有最高允许浓度，为保证操作者身体健康，必须靠排气或换气，使空气中的溶剂等有官物质蒸汽浓度低于最高允许浓度，并确保作业人员长期不受损害。

### 10.3.2　涂装作业中所产生的有害物质及其来源是什么？

涂装生产过程中产生的有害物质主要为废水、废气、废渣，对环境造成了一定的危害。废水的来源有两个：

1）涂装前预处理产生的废水。对被涂件表面进行脱脂、除锈、磷化、钝化处理时，所使用的碱液、酸液、磷化液、表调液等含有有害化学物质的液体均需定期更换，而产生废水；对出槽工件所进行的水洗，也会产生含有有害物质的废水。

2）涂装时产生的废水。在喷涂室中，利用水吸收捕获的漆雾，产生含油漆的废水；在腻子打磨过程中，为了防止粉尘污染，采用水打磨工艺，产生废水。

涂装施工过程中产生的废气主要是大量有机溶剂的挥发气体和飞散的漆雾。

废弃物的来源有：液体的清洗溶剂和油漆，固体的废漆渣、粉尘残渣、磷化沉渣等。

### 10.3.3　涂装车间有害物的产生量有多大?

涂装车间是机械工厂中对环境污染最为严重的车间。对于环境的污染，特别是对大气的污染，涂料施工远比涂料生产严重。空气喷涂时有害物的产生量见表 10-6。

**表 10-6　空气喷涂时有害物的产生量**（质量分数,%）

| 项目 | | 涂料使用量 | 干燥成膜量 | 淤渣 | 循环水 | 通风 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 喷漆室 | 烘干室 |
| 涂料 | | 100 | | | | | |
| 成分 | 颜料 | 25 | 15 | 10 | | | |
| | 树脂 | 25 | 11 ~ 14.5 | 10 | | | |
| | 溶剂 | 50 | | ≈10 | 2 ~ 5② | 17 ~ 20 | 18 |
| | 反应气体① | | | | | | 0.5 ~ 1.0 |
| 合计 | | 100 | 29 ~ 29.5 | 30 | 2 ~ 5 | 35.5 ~ 39.0 | |

① 反应气体是涂料中的树脂在烘干室中热固化时的反应生成物。

② 循环水中的溶剂量，由于溶剂的种类不同有所变化。

### 10.3.4　如何处理涂装车间的有害物?

工业涂装有害物质的处理有如下两种途径：

1）改变产品的结构和施工方法，从根本上清除或减少涂装作业中有害物质的产生，如：①生产无害和低毒涂料，逐渐减少生产严重污染环境的溶剂型涂料；②开发生产水性涂料、粉末涂料、高固体分涂料、非水分散涂料和光固化涂料等，以消除和减少溶剂型涂料对大气的污染；③同时采用高效涂装工艺，提高涂料的附着效率，减少涂料的飞散；④采用高效低毒预处理剂及工艺，取代钝化工艺及消除铬离子的污染等。

2）对涂装作业中产生的有害物质进行有效的、科学的、经济的处理。

### 10.3.5　涂装作业的职业危害有哪些?

涂装作业是长期接触有毒物质的一种作业，其有毒物质主要来自涂料中的各种有机溶剂和稀释剂，还有涂装作业预处理时，用作脱脂清洗的各种有机溶剂。其中危害最大的是苯和铅。

1. 苯中毒的危害

苯及其同系物以及常用的部分有机溶剂，在涂装作业过程中容易发生急性中毒事

故。引起急性中毒的有机溶剂中最为常见者有苯、甲苯、二甲苯、二氯乙烷等。

苯主要损害神经系统和造血系统。长期接触苯可引起人类及其实验动物血象异常，致染色体畸变。通过国内外大量流行病学调查，苯对工人的危害表现为急性中毒、白细胞减少症、再生障碍性贫血及出血病等。

2. 铅中毒的危害

涂料产品中的铅中毒来源于以下各种有害物质：红丹，又称铅丹，用于防锈底漆；铅铬黄，用于油性漆，磁漆；铅白，铅白易镕于胃液中，可达到 59.8 ~ 77.9% （质量分数)。铅白是一种古老的白色颜料，曾用于制造白色油漆，容易吸收，毒性大；黄丹，油漆中作为催干剂。

铅作用于全身各系统和器官，主要涉及神经、造血、消化、心血管系统及肾。据文献报道铅对人体有致畸、致突变作用。

### 10.3.6　涂装防毒的技术措施有哪些?

（1）一般原则　GB 5044—1985《职业性接触毒物危害程度分级标准》中，把苯列为一级极度危害。对接触铅、苯作业的职工采取特殊保护措施。

（2）限制和替代含苯涂料　采用的有水性涂料、高固体分涂料和粉末涂料等替代含苯涂料。

利用抽余油配制出硝基漆、过氯乙烯漆，醇酸树脂漆和氨基树脂漆四种涂料的无苯涂料，其配方见表 10-7。

**表 10-7　无苯稀料的配方**　（质量分数,%）

| 稀释剂组分 | 硝基漆 | 过氯乙烯漆 | 醇酸树脂漆 | 氨基树脂漆 |
|---|---|---|---|---|
| 乙酸乙酯 | 17 | 10 | | |
| 乙酸戊酯 | 13 | 8 | | |
| 乙醇 | 20 | | | |
| 丙酮 | | 27 | | |
| 抽余油 | 50 | 55 | 50 | 40 |
| 丁醇 | | | | 20 |
| 轻油 | | | 50 | 40 |

（3）限制和替代红丹防锈漆和重金属颜料　红丹防锈漆是一种毒性较大的含铅涂料，职业危害比较严重。现将红丹漆改为铁红酚醛防锈漆，杜绝了铅的危害。

（4）制定有严重职业危害涂料的安全涂装方法　采用湿法除旧漆；含铅、锌的涂料和防污涂料，应用刷涂法；需焊接涂有含铅、锌涂料的钢板，必须在焊接处预留 200mm 宽的地带。

（5）必须在喷涂室进行喷涂作业　采用喷涂室，将喷涂作业密闭与外界隔离，同时配合通风排毒和净化回收。对于受生产条件或设备限制无法完全密闭的喷涂室，需要采取通风排毒措施。

（6）隔离操作和仪表控制自动化　喷涂室内有毒气体浓度未能降低到符合 GB Z1—

2010 时，可用如下两种做法达到标准：一种是将涂装设备放在隔离室内，用排风使隔离室保持负压状态；另一种是将工人操作地点放在隔离室内，而用送风处于正压状态。由于操作工人与涂装设备隔离，两者之间借助仪表控制实现自动化操作。当工人进入修理时，须注意采取防毒的临时措施。

（7）采取个人防护措施　涂装作业在无法通风排毒的条件下，或在狭小空间进行涂装作业时，就有必要采用送风面罩和防苯口罩。送风面罩是将经净化的压缩空气送到工人呼吸道，与有毒气体隔绝。防苯口罩上两边有滤毒盒，盒内装活性炭颗粒，能滤去含苯气体。涂装作业中为防止苯和汽油与操作者皮肤长期接触，需用液体手套或防苯手套。这种手套实际是用一种水溶液涂在手上，能干燥成薄膜，而又不溶于苯等有机溶剂中。

### 10.3.7　喷涂室在涂装作业排毒中有何作用？

喷涂室带有机械通风的安全设备，为密闭式或半密闭室的围护结构，其作用概括说来是解决喷漆作业的防毒安全，具体有如下几方面：

1）喷涂室将工件喷涂限制在一定区域内，使含有漆雾和各种溶剂的空气聚集，并经漆雾去除装置处理后排出。使喷涂室邻近的生产部门不受影响，与采用喷涂室前相比，车间内劳动安全卫生条件和周围环境都有明显改善。

2）由于喷涂室内部有一定流向的气流组织，能保证操作者在操作区喷涂时受到的空气污染明显减轻，使操作区符合 GB Z1—2010 中的规定。

3）由于工件喷涂限制在喷涂室内进行，在此有限的区域内，容易实现温度、湿度和空气洁净度的控制和调节，改善了操作者的劳动安全卫生条件，同时为装饰性要求高的工件提供符合技术要求的工作环境。

### 10.3.8　涂装喷涂室必须具备哪些安全技术条件？

涂装作业中的防毒安全主要依靠正确地应用喷涂室，在选用或设计喷涂室时，必须确定喷涂室的通用安全技术条件。无论单件、小批生产，改成批生产，或向国外引进，都必须具有通用安全技术条件。

喷涂室的通用安全技术条件包括以下几个方面的内容。

（1）较高的漆雾（和有机溶剂）净化效率　其评价指标有以下 3 项：①喷涂室正常运行条件下，操作位置上空气中有害物质浓度不得超过表 10-8 的规定；②喷涂室内部为涂漆区，必须配置排风系统，对于大型、密闭式喷涂室，同时需要配置送风系统，其控制风速采用表 10-9 的规定；③喷涂室的漆雾去除装置应有良好的漆雾净化率（或称漆雾除去率），使排出口空气符合《油漆作业安全规程、涂漆工艺通风净化》的规定，该规定与 GB Z1—2010 一致，即当喷涂室的排气筒的排出口的标高为不大于 20m 时，以甲苯或二甲苯为例，一次排出最大浓度不大于 0.3mg/m$^3$。

（2）符合防爆防火灾全的规定　包括：①喷涂室内部为涂漆区，根据相关规定，为二级操作危险区域，不宜设置电气设备、器具，必须设置时应符合二级爆炸危险场所电气设计规范的规定；②喷涂室开敞面以外垂直和水平距离 3m 以内空间，为三级爆炸危险场所，应尽可能地在此空间内不设置电气设备、器具，如开关柜、动力箱、配电箱或驱动电气机组，若不得不在此空间内设置，则应符合三级爆炸危险场所电气设计规范

的规定；③与喷涂室配置的排风机组及其排风机室，均应按照二级爆炸危险场所的规定选择防爆风机；④密闭式喷涂室须设置泄压窗，其面积为喷涂室内部体积的 5% ~ 22%；⑤喷涂室应采用阻燃材料制作室体，内壁光滑平整，易于清除积漆，防止积漆爆燃；⑥密闭式喷涂室出入口宜设置向外开的门，若用电动或液压或气动控制来开启门，应同时具有手工开启的功能；⑦对于用油为介质吸附空气中能雾的喷涂室，与其配套的油箱容积及其安装，应符合《建筑设计防火规范》的规定。

**表 10-8　喷涂室操作位置上空气中有害物质最高允许浓度**

| 编号 | 物质名称 | 最高允许浓度/($mg/m^3$) | 编号 | 物质名称 | 最高允许浓度/($mg/m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 甲苯 | 100 | 8 | 丙醇 | 200 |
| 2 | 二甲苯 | 100 | 9 | 丁醇 | 200 |
| 3 | 丙酮 | 400 | 10 | 乙酸乙酯 | 300 |
| 4 | 环己酮 | 50 | 11 | 乙酸丁酯 | 300 |
| 5 | 溶剂汽油 | 350 | 12 | 乙醚 | 500 |
| 6 | 松节油 | 350 | 13 | 氧化锌 | 5 |
| 7 | 环氧己烷 | 5 | 14 | 三氯乙烯 | 30 |

**表 10-9　喷涂室的控制风速**

| 操作条件（工件完全在室内） | 干扰气流/(m/s) | 控制风速设计值/(m/s) | |
|---|---|---|---|
| 静电喷漆或自动无空气喷漆 | 忽略不计 | 大型喷涂室 | 0. 25 |
| | | 中小型喷涂室 | 0. 50 |
| 手动喷漆 | 0. 25 | 大型喷涂室 | 0. 50 |
| | | 中小型喷涂室 | 0. 76 |
| 手动喷漆 | 0. 25 | 大型喷涂室 | 0. 76 |
| | | 中小型喷涂室 | 1. 00 |

注：1. 表中所限定的控制风速是指喷涂室内气流的断面风速。
2. 表中所限定的干扰气流是指影响控制风速的穿堂风，或操作人员来回走动的影响。如果操作时，操作人员基本在操作位置移动很缓慢，并从将门密闭，此时干扰气流应视作很小，可忽略不计，则对大型喷涂室的控制风速可选为 0. 25 ~ 0. 30m/s。

（3）防噪声安全　与喷涂室配套的风机、水泵或油泵、阀件及风管管道的噪声均不得对操作人员有所影响，应符合《工业企业生产过程噪声控制规范》的规定。对于噪声较大的部件或外协件应采取减振、隔振、消声和隔声措施，使其噪声级降低，减小对操作人员的影响。

（4）防腐蚀安全　所选用的涂漆雾凝聚剂尽可能为弱碱性，当所选用的漆雾凝聚剂不得不为强碱性时，喷涂室水槽（水池）内壁应涂覆防腐蚀材料，如重防腐蚀环氧

树脂漆等。

（5）劳动操作安全　包括：①喷涂室的排风机应与喷涂设备联锁，即当排风机发生故障，喷涂设备发出停止信号；必须当排风机恢复正常运行，喷涂设备才能进入正常作业。②喷涂室的工作位置周围应保证操作人员的头、手、臂、腿、足有充分的活动余地，并应考虑操作者交替使用坐姿和立姿，一般应考虑坐、站、走三者交替使用的操作姿势，及其所需要的空间和支撑件。③喷涂作业宜选用高效漆雾凝聚剂，既有助提高漆雾净化率，又有助于喷涂室废水治理。④喷涂室内为进行喷涂作业需要采用混合照明时，其最低照度为 500lx；当采用一般照明时，最低照度为 150lx；⑤当喷涂室内喷涂操作和维修工作在底面 2m 以上时，须配置供站立的平台和防坠落的栅栏和防护板，并应符合高空作业的有关规定。

（6）安全监察　包括：①喷涂室应按照持有涂装专业设计证书的专业设计院的设计图样制造，或由省级以上主管部门批准的单位提供的设计图样制造；②喷涂室出厂应具有由国家劳动安全质量监督检验机构参加鉴定的鉴定会议技术文件、产品铭牌、使用说明书和检验合格证；③喷涂室交付使用前，应由使用单位会同设计单位（或选用单位）和生产厂进行竣工验收，要求达到设计性能指标、性能检查和试验的资料齐全，在额定生产能力使用条件下，达到原设计的劳动、安全和卫生要求；④喷涂室应每年至少进行一次通风系统效能技术鉴定和电气安全技术鉴定，并将鉴定结果记入档案。

## 10.4　涂装防火防爆安全技术

### 10.4.1　涂装车间对防火防爆有何要求？

涂装车间应做一级防火，电器设备全部采用防爆型并配套足够的灭火设置。建筑物应有防火结构，并至少有两处以上的出口。

由危险区的范围可知，在面积大于 500$m^2$ 的油漆车间、调漆间和涂料仓库，都应有自动安全防火设备。在危险区域内，应设监测传感元件、30s 内即能启动的 $CO_2$ 消防系统、按 5min 内蒸气充满房间设定的 $CO_2$ 瓶数量和喷射嘴数目。

### 10.4.2　易燃溶剂的危险性及火灾危险品的等级如何划分？

国产涂料中 90% 以上为含有机溶剂的涂料。由于有机溶剂（包括稀释剂）有易燃性和易爆性，所以涂料多用闪点确定危险等级。但在涂料的贮存、涂覆和成膜的干燥过程中，都将有有机溶剂、稀释剂的气体挥发与空气组成混合气体。混合气体的闪点、爆炸极限等标志着爆炸危险程度的特性。

根据闪点的不同，将易燃品的危险等级分为两级，见表 10-10。

表 10-10　易燃品的危险等级

| 级别 | 闪点 | 性　　能 | 举　　例 |
|---|---|---|---|
| 一级 | <28℃ | 高度挥发性和燃烧性 | 汽油、丙酮、二甲苯等 |
| 二级 | 28～45℃ | 易燃性低于一级 | 煤油、松节油等 |

### 10.4.3　如何划分涂装作业场所的爆炸危险等级?

爆炸危险场所的等级划分，按照爆炸危险程度可分为三级：

1）Ⅰ-0 级爆炸危险场所是指在正常情况下，爆炸性混合气体连续地或经常地长时间存在的场所。

2）Ⅰ-1 级爆炸性危险场所是指在正常情况下，有可能积聚形成爆炸性混合气体的场所。

3）Ⅰ-2 级爆炸性危险场所指在不正常情况下，有可能短时间积聚形成爆炸性混合气体的场所。

由涂装作业的特点可知，所释放的有机溶剂和稀释剂形成爆炸性气体温合物属于连续级，对照以上三个等级别分，似乎应归入Ⅰ-0 级。但是喷涂室是必须配置机械通风装置的，其通风量足以使喷涂室内爆炸性混合气体的最大体积浓度限制在爆炸下限的 50%（体积分数）以下。而且只有机械通风出现故障时，即在不正常情况下，可能短时间积聚形成爆炸性混合气体。因此，在考虑了设置机械通风装置这一情况以后，喷涂室这样的涂装作业场所应归入Ⅰ-2 级，而不应归入Ⅰ-0 级。

### 10.4.4　涂装作业场所建筑物的防火等级和燃烧性能有什么要求?

涂装作业场所的建筑物的防火等级和燃烧性能应符合《建筑防火设计规范》的规定，并应满足以下要求：

1）涂漆室建筑物构筑物应用非燃烧体材料组成，其耐火等级为一、二级：一级耐火等级即钢筋混凝土结构或砖墙与混凝土组成的混合结构；二级耐火等级即钢结构屋架、钢筋混凝土、或砖城组成的混合结构。

2）喷丸房和装有自动灭火装置的涂装室其建筑结构可采用三级耐火等级。三级耐火等级即木质屋顶和砖墙组成的砖木结构，但屋顶和用于屋顶的横梁和格条必须采用耐火 4h 的非燃烧材料。

3）建筑层数宜采用单层建筑。

### 10.4.5　常用有机溶剂和稀释剂的爆炸极限是多少?

国产涂料的爆炸极限数值正在逐步实测积累数据，目前只能参考所用有机溶剂和稀释剂的爆炸极限数值。常用的有机溶剂和稀释剂的爆炸极限见表 10-11。

**表 10-11　常用的有机溶剂和稀释剂的爆炸极限**

| 有机物名称 | 应用形式 | 闪点/℃ | 爆炸极限（体积分数,%） | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 上限 | 下限 |
| 甲苯 | 溶剂、稀释剂 | 6 ~ 30 | 1.0 | 7 |
| 二甲苯 | 溶剂、稀释剂 | 29 | 1.0 | 7.6 |
| 乙醇 | 溶剂、稀释剂 | 9 ~ 32 | 2.6 | 19 |
| 异丙醇 | 溶剂、稀释剂 | 12 | 2 | 12 |
| 丁醇 | 溶剂、稀释剂 | 21 ~ 34 | 1.7 | 8 |
| 丙醇 | 溶剂、稀释剂 | −20 | 1.6 | 18 |
| 乙酸乙酯 | 溶剂、稀释剂 | −10 | 2.1 | 11.5 |

（续）

| 有机物名称 | 应用形式 | 闪点/℃ | 爆炸极限（体积分数,%） | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 上限 | 下限 |
| 乙酸丙酯 | 溶剂、稀释剂 | 10 | 11.7 | 8 |
| 乙酸丁酯 | 溶剂、稀释剂 | 22 | 1.2 | 7.8 |
| 200 号溶剂 | 溶剂、稀释剂 | 19 | 1.0 | 6 |
| 汽油 | 溶剂、稀释剂 | — | — | — |

### 10.4.6　有机溶剂和有机粉末有哪些爆炸危险性？

涂装作业中最多见的危险物品为有机溶剂，其次为有机粉末。前者是溶剂型涂料中必不可少的，后者即为粉末涂料本身。

1. 有机溶剂的爆炸危险性

1）易燃性高，大部分有机溶剂的闪点在常温以下。

2）爆炸下限一般在 1% ~3%（体积分数），爆炸极限范围较宽。

3）极易挥发，有可能引起火焰扩散式燃烧。

4）所需最小引燃能量小，一般为 0.2mJ 左右。

5）有带电性，有静电可燃危险。

2. 有机粉末的爆炸危险性

有机粉末的爆炸浓度下限多在 $65g/m^3$ 以下，称为爆炸性粉尘。它的颗粒直径在 1 ~150μm。特别是直径小于 10μm 的粉尘颗粒能在运动的气流中长时间悬浮，形成爆炸尘云。

有机粉尘的最小点燃能量一般为 10 ~100mJ。粒度细的粉尘表面积大，反应容易，所需点燃能量小，容易爆燃。当温度升高和压力增加时，爆炸浓度范围随之扩大，点燃能量相应下降，所以贮存和输送粉尘的管道应避免日光暴晒。

### 10.4.7　爆炸危险场所电气设备的选型有哪些要求？

爆炸危险场所电气设备选型要求见表 10-12。

**表 10-12　爆炸危险场所电气设备选型要求**

| 种类 | | 场所等级 1 | 场所等级 2 | 场所等级 3 |
|---|---|---|---|---|
| | | 选型 | | |
| 电机 | | 隔爆型防爆通风型 | 任意一种防爆类型 | 封闭式 |
| 电气和仪表 | 固定安装 | 隔爆型，防爆充油型，防爆通风，充气型，防爆安全火花型 | 任意一种防爆类型 | 防尘型<br>防水型 |
| 电气和仪表 | 移动式 | 隔爆型，防爆充气型，安全火花型 | 除防爆充油型外，任意一种防爆类型 | 除防爆充油型外，任意两种，防爆类型（密封型，防水型） |
| | 携带式 | 隔爆型，安全火花型 | | |

（续）

<table>
<tr><th rowspan="3" colspan="2">种　　类</th><th colspan="3">场　所　等　级</th></tr>
<tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr>
<tr><th colspan="3">选　　型</th></tr>
<tr><td rowspan="2">照明灯具</td><td>固定安装及移动式</td><td>隔爆型、防爆充气型</td><td>任意一种防爆类型</td><td>防尘型</td></tr>
<tr><td>携带式</td><td colspan="2">防　爆　型</td><td>防爆型，防爆安全型</td></tr>
<tr><td colspan="2">变压器</td><td>隔爆型，防爆通风充气型</td><td rowspan="2">任意一种防爆型</td><td rowspan="2">防尘型</td></tr>
<tr><td colspan="2">配电装置</td><td>隔爆型，防爆通风气型</td></tr>
<tr><td colspan="2">电器设备</td><td>隔爆型，防爆充油型，防爆通风充气型，防爆安全火花型</td><td>任意一种防爆型</td><td></td></tr>
</table>

正常情况下，连续或经常存在爆炸混合物的场所，喷漆机内部一般不设置电气设备，但为了测量、维修或控制的要求，允许装防爆安全火花型的电气设备。排风用的电动机及其控制设备，应相应地选择一种防爆类型的。

### 10.4.8　火灾如何分类？

根据可燃物质的种类，火灾可分为 A、B、C、D、E 五类：

（1）A 类　固体碳系物质，如建筑物、构筑物等。

（2）B 类　易燃液体，如：

1）B（a）：不溶于水，闪点在 65℃以下。

2）B（b）：溶于水，闪点在 65℃以下。

3）B（c）：不溶于水，闪点高于 65℃。

4）B（d）：溶于水，闪点高于 65℃。

（3）C 类　易燃气体，如液化天然气、氢等。

（4）D 类　金属。

（5）E 类　电气。

### 10.4.9　燃烧物危险等级如何划分？

涂装作业场所燃烧物的危险等级根据使用的涂料种类而定，见表 10-13。

**表 10-13　涂漆作业生产的燃烧物危险等级**

| 等级 | 闪点 | 燃烧性能 |
|---|---|---|
| 一级 | 21℃以下 | 极易燃 |
| 二级 | 21 ~ 70℃ | 一般 |
| 三级 | 70℃以上 | 难燃 |

### 10.4.10　涂装防火安全措施有哪些？

1）涂装车间的所有结构件都应采用防火材料制成。

2）尽可能将涂装车间布置在厂房的一边，并用防火墙与其他车间隔开。

3）所有的门应开在离外出口最近处，而且门要朝外开，通向太平门的通道保持畅通无阻。

4）在与相邻车间有传送装置的情况下，出入口也应装防火门，其耐火强度不低于45min。

5）每 $m^3$ 的厂房体积对应的窗户或易打开的顶盖面积不小于 $0.05m^2$。

6）大于 $100m^2$ 面积的涂装车间必须具备两个以上的出口（太平门）。

7）供涂装车间、调漆间和涂料库用的消防灭火用具，每 30m 应保证有下列消防工具：两个泡沫灭火器，一个 $0.3 \sim 0.5m^3$ 的沙箱，一套石棉衣和一把铁铲。

8）制定严格的管理制度，对职工不断进行安全意识教育，让职工掌握防火安全技术知识，会使用各种消防工具。

### 10.4.11 涂装防火安全的注意事项有哪些？

1）涂装车间、涂料库所用的电气设备都应是防爆型的，电源应设在防火区域以外。

2）涂装车间的所有金属设备都应接地保护，防止静电积聚和静电放电。

3）涂装车间内严禁烟火，禁止带火种进入车间，安装和维修设备需动用明火时，应采取防火措施，在确保安全的情况下才准许工作。

4）车间现场的贮漆量不应超过用量。

5）擦过溶剂和涂料的棉纱、破布等应放在专用带盖铁箱中，定期处理。

6）在涂装过程中，应尽量避免敲打、碰撞、冲击，禁止在地面上滚动涂料桶。

7）在专用喷涂室内喷漆。喷涂室应配备可燃气体浓度报警系统和 $CO_2$ 灭火系统装置，也可根据实际情况配备自动喷水系统、水喷雾系统。对于自动喷涂设备的消防保护，最新的趋势是在喷涂设备上附属配套一独立的 $CO_2$ 供给系统。

8）流平室、烘干室都应符合防火安全技术要求。

9）严禁向下水道内倒废弃的易燃溶剂和涂料。

### 10.4.12 常用的灭火方法有哪些？

燃烧必须同时具有可燃物、氧气和火源三个条件，缺少其中某一条件，燃烧就停止。为此，灭火的方法有：

（1）窒息法　即隔绝空气，使可燃物无法获得氧气而停止燃烧。

（2）冷却法　即降低已燃物质温度，使之降低到燃点以下而停止燃烧。

（3）隔离法　将正在燃烧的物质与未燃烧物质隔开，中断可燃物质的供给，使火源孤立，火势不致蔓延。

为了迅速扑灭火灾，以上三种方法往往同时并用。

对灭火剂的要求是效能高、使用方便、成本低、对人体和生物基本无害。常用的灭火剂有水、泡沫液、惰性气体、阻燃不燃性挥发液、化学干粉、固态物质等。

根据燃烧物的不同，选用的灭火方法也有不同，常用的灭火方法见表 10-14。

### 10.4.13 如何进行火灾、爆炸监测？

火灾监测仪器是发现火灾苗头的设备。火灾发生前有酝酿期和发展期，会陆续出现

与火灾相关的信息，如烟、热流、火光、辐射热、臭气等，均可作为监测仪表的探测对想。现在，除利用感温原理外，还利用感烟、感光（红外和紫外）和感气等多种探测原理来探测火灾信息。

**表 10-14　常用的灭火方法**

| 序号 | 燃烧物 | 火灾初起时的灭火方法 | 原　理 |
|---|---|---|---|
| 1 | 有机纤维普通燃烧材料 | 1）黄沙扑灭<br>2）用水或酸、碱泡沫灭火机扑灭 | 使之与空气隔绝，起冷却降温作用 |
| 2 | 有机溶剂、涂料类不溶于水的燃烧性液体 | 1）用二氧化碳灭火器<br>2）用泡沫灭火器和石棉毯压盖 | 隔绝空气、窒息氧气灭火 |
| 3 | 可溶于水的有机溶剂 | 用水扑灭 | 冲淡溶液而灭火，或将容器盖严而隔绝空气 |
| 4 | 电气设备 | 用四氯化碳、溴甲烷、也可用二氧化碳灭火器扑灭 | 这些不导电性液体不损坏设备，也不会使人触电，但只能用于通风处，因其蒸气有毒。切不可用泡沫灭火器，否则有电伤人的危险 |

（1）感温式火灾坚监测仪　有易熔合金自动喷水阀、空气膜盒式感温探头，利用气体的热膨胀性使报警信号电接点接通。

（2）感光式火灾监测器　有红外监测器，用于测量随着火灾的酝酿、发展、产生的大量红外线；紫外探测器采用紫外光敏半导体测量火焰中含有的紫外线，具有动作迅速、干扰少的特点。

（3）感烟式火灾监测器　常用的是光电式监测器，用光电管测烟雾信息；离子化烟监测器，利用 $\alpha$ 放射源照射气室产生一定的离子电流。当烟粒出现时，吸收一部分 $\alpha$ 粒子，减弱了离子电流产生烟雾信号。这种监测器性能稳定，是目前比较常用的一种。

（4）感气式火灾监测器　有气敏半导体监测器，它可监测低浓度的烃类和一氧化碳等在火灾初期出现的燃烧分解物，具有灵敏、简单、价廉的优点，但易受其他非火灾背景气体的干扰。

利用以上各种监测器可组装成火灾报警器和报警网及自动灭火系统。

### 10. 4. 14　灭火材料有哪些?

（1）消防用水　水是最方便、来源最丰富的灭火剂。水的热容量比任何液体都大，而且它在蒸发时需要吸收大量热。因此，水的吸热能力很大，具有显著的冷却作用。1kg 水能够生成 1700L 的蒸汽，水蒸气既能冲淡燃烧区可燃气体的浓度，又能起阻挡空气进入燃烧区的作用。用水灭火的设备有消防供水管线、消防栓、贮水池、喷水消防车、机动水泵、水龙带、喷轮、固定喷水头等。

（2）灭火泡　其灭火机理是利用泡中水分的冷却作用和泡层隔绝空气的窒息作用。灭火泡有化学泡沫、低倍空气泡、高倍空气泡和耐醇泡等。

1）化学泡沫。用硫酸铝和碳酸氢钠的水溶液作用可产生二氧化碳泡沫。这种泡沫对扑灭汽油、煤油、油漆等易燃液体的火灾最有效。泡沫不能像水一样流动，不能渗入燃烧物的空隙，所以灭火效果受到影响。泡沫的持久性指泡沫体积破坏 20% 的时间，要求不低于 25min。

2）低倍空气泡。把含有发泡剂和稳泡剂的水溶液，用发泡机械鼓入空气，并猛烈搅拌，可得到膨胀率为 4 ~ 12 倍的低倍泡，通过贮泡室和喷管射向火场。低倍泡的耐烤性较强，兼有冷却和窒息的双重作用。

3）高倍空气泡。以界面活性剂为主添加少量水介蛋白配成水溶液，通过发泡机械可以产生膨胀率为 800 ~ 1000 倍的高倍泡。由于气泡产生量大，适宜用于切断通道的火区。高倍泡的主要作用是隔氧窒息。

4）耐醇泡。涂装作业现场合有醇、酮类物质时，需添加一种护膜剂，使其在空气泡表层形成对醇类的不溶性膜，从而保证空气泡的灭火作用。

5）惰性气体。其灭火作用是，稀释空气中的氧气浓度，使之降到燃烧的最低需氧量以下，火便熄灭。常用的惰性气体有氮气和二氧化碳。

（3）不燃性挥发液　不燃性挥发液的灭火机理是蒸发冷却和稀释氧浓度，以四氯化碳为例。当四氯化碳覆到燃烧物体上时，能迅速蒸发成气体。它比空气重 5.5 倍，聚集在燃烧物周围，起隔绝氧气的作用。空气中含有 7.5% ~10% 体积的四氯化碳蒸汽时，燃烧就会停止。但四氯化碳本身有毒，在受热达到 250℃时，能与水蒸气作用生成盐酸，因此使用者应站在上风处和通风的位置，以防中毒。

此外，其他容易气化的液体，如二氮二溴甲烷（无毒的液体）也是灭火剂，灭火效果比四氯化碳好，特别发生大量油料的火灾时，用它来灭火效果更好。还有一种二氟一氯一溴甲烷，可将其装在钢瓶内，并充压缩氮使用，称为“1211”灭火机。

（4）化学干粉和固态物质　用化学干粉灭火主要是为抑制燃烧。沿用的有碳酸氢钠粉末，添加一些防止贮存结块的助剂，使用时以压缩的氮气为动力，通过喷嘴将干粉喷射到灭火目标上。固态灭火物质中，黄沙最为便宜，资源丰富，故使用最为普遍。可以扑灭少量易燃液体和某些不宜用水扑灭的化学药品的火灾，但不能用以盖熄爆炸物，防止引起爆炸。此外，钠盐干粉灭火机适用于扑灭石油产品，电器初起火灾。还有，用石棉被、毯等来扑灭少量易燃液体和固体化学药品引起的初起小火，也很有效。

### 10.4.15　灭火装置的设置数量有哪些要求？

涂装作业场所附近除设置固定灭火装置外，还应配置小型灭火机和其他简易的灭火器材。

小型灭火机的种类及数量设置，应根据场所的火灾危险性，占地面积及有无其他消防设施等情况综合考虑，通常可参照表 10-15 采用。

**表 10-15　小型灭火器设置数量**

| 场　　所 | 设置数量/（个/$m^2$） | 备　　注 |
|---|---|---|
| 露天分段涂漆场所 | 1/150 ~ 1/100 | 1）场地面积大于 1000$m^2$ 时选用小值，小于 1000$m^2$ 时选用大值<br>2）灭火机在同一场所至少设置两个 |
| 涂料作业建筑物 | 1/50 | |

（续）

| 场　所 | 设置数量/（个/$m^2$） | 备　注 |
|---|---|---|
| 喷（抛）丸房 | 1/80 | 1）场地面积大于 1000$m^2$ 时选用小值，小于 1000$m^2$ 时选用大值<br>2）灭火机在同一场所至少设置两个 |
| 油漆仓库 | 1/80 | |

### 10.4.16　灭火剂和灭火机的选用范围是什么？

小型工厂在缺乏全厂性消防的情况下，除按表 10-16 设置小型灭火机外，根据火灾危险程度宜增设灭火机。各类灭火剂和灭火机选用范围见表 10-16。

**表 10-16　各类灭火剂或灭火机选用范围**

| 火灾种类 \ 灭火剂或灭火机 | | 水 | 化学泡沫或机械泡沫 | 耐醇类泡沫 | 干粉 | $CO_2$ 或 1211 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A 类 | | 最适用 | 不能用 | 不适用 | 不适用 | 不适用 |
| B 类 | （a） | 不适用 | 最适用 | 适用 | 最适用 | 可用 |
| | （b） | 用喷水控制开口 | 不适用 | 最适用 | 最适用 | 可用 |
| | （c） | 水雾或喷水 | 最适用 | 适用 | 最适用 | 可用 |
| | （d） | 水雾或喷水 | 不适用 | 最适用 | 最适用 | 可用 |
| C 类 | | | | | | |
| D 类 | | | | | | |
| E 类 | | 不能用 | 不能用 | 不能用 | 适用 | 最适用 |

### 10.4.17　使用二氧化碳气体灭火器时有哪些注意事项？

1）要站在上风位置喷射，以防灭火者发生窒息。

2）要接近火源，二氧化碳的喷气距离为 2～3m 远，灭火效果大减。

3）宜从火势蔓延最危险的一边喷，然后逐渐移动。

### 10.4.18　泡沫灭火机的使用维护有哪些注意事项？

1）灭火机应放置在干燥、阴凉、容易取下的地方，经常用铁丝疏通喷嘴，防止堵塞。

2）灭火机应有专人负责，经常检查，及时换药，一般应每隔一至二年更换一次，并对筒壳进行水压试验。例如 10L 的灭火机，其筒壳厚 1.6mm，筒能耐水压 2.11MPa 为合格。

3）使用手持泡沫灭火机时，要离开胸前 200mm 左右，以防喷嘴堵塞时筒内压力过大，筒体意外爆炸伤人。

4）用泡沫灭火时，不要同时使用其他液体灭火，否则会破坏泡沫，失去灭火作用。

## 10.5　涂装防静电安全技术

### 10.5.1　涂装作业中的静电危害有哪些?

涂装作业场所多数属于爆炸危险性场所，特别在涂装作业中，静电喷涂和静电喷粉是利用高电压静电作为动力源，因此，对防静电的要求较高。静电的主要危害是使人体受电击、影响产品质量和引起燃烧爆炸三个方面。在涂装作业场所，静电放电时产生的火很可引起溶剂型涂料和粉末涂料的燃烧。

涂装作业中产生静电放电的原因，主要是两电极间的空气被击穿成为通路，电极上有明显的放电集中点，在瞬间内能量集中释放在静电喷涂和静电喷粉中，产生火花放电。

涂装作业中静电危害举例见表 10-17。

**表 10-17　静电危害举例**

| 危害原因 | 危害种类 | 危害内容 | 危害举例 |
| --- | --- | --- | --- |
| 静电作用 | 爆炸与火灾 | 引起可燃易燃性液体爆炸或起火 | 输送汽油的设备不接地可能引起汽油着火 |
| | | 引起某些粉尘爆炸或起火 | 静电可使树脂粉末、铝粉爆炸 |
| | | 引起某些气体爆炸或起火 | 高速气流如氢气喷出时，可能引起爆炸 |
| | 人身伤害 | 使人遭受电击 | 静电很高时，容易发出电击 |
| | | 因电击引起二次伤害 | 意外的电击可能引起跌倒 |
| | 妨碍生产 | 引起电气元件误动作 | 影响计算机正常工作 |
| 力学作用 | 妨碍生产 | 纤维发生缠结，吸附尘埃 | 影响产品质量 |
| | | 使粉体吸附于设备 | 影响粉体的过滤和输送 |

### 10.5.2　如何进行静电测量?

为防静电往往有必要测量静电，被测量的静电参数主要有电压、电流、电阻、电容和电量等。导体上的静电宜采用接触式仪表测量。绝缘的固体、液体和粉体上的静电宜采用非接触式仪表测量，或其他间接方法测量。常用测量静电参数的仪器仪表见表 10-18。

**表 10-18　常用测量静电参数的仪器仪表**

| 测量参数 | 仪器名称 | 仪器原理 | 测量范围 | 适用场所 | 特点 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 电压 | QV 型静电电压表 | 利用静电作用力，使张丝偏转 | 10 ~ $10^4$V（但同一台仪器可调幅度较小） | 实验室现场 | 仪器与被测对象接触，宜测取导体上电位，工频交流上可用 | 受空气湿度及测量系统，电容等影响，会产生一定误差 |
| | 静电电压表 | 利用静电感应经过直流放大指示读数 | 10 ~ $10^4$V | 实验室现场 | 体积较小，非接触式测量 | |

（续）

| 测量参数 | 仪器名称 | 仪器原理 | 测量范围 | 适用场所 | 特点 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 电压 | 静电电压表 | 利用静电感应，变成交流信号，然后放大指示读数 | $10\sim10^4$ V | 实验室现场 | 体积较小，非接触式测量 | |
| | 静电电压表 | 用振动电容器将直流微弱信号变成交流信号后，再放大指示 | mV ~ $10^2$ V | 实验室 | 非接触式测量 | 一般用于较精密的低电压测量 |
| | 集电式静电电压表 | 利用放射性元素电离空气，改变空气绝缘电阻 | $10\sim10^4$ V | 实验室现场 | 非接触式测量 | |
| 高绝缘电阻 | ZC31 型振动电容式超高阻计 | 用振动电容器将直流微弱电流变成交流信号后，放大并指示 | $10^6\sim10^{10}\Omega$ | 实验室 | 适宜固体介质高绝缘测量 | 可测量 $10^{10}$ A 的微电流 |
| 微电流 | AC 型复射式检流计 | 利用磁场对载流线圈的作用力矩使张丝偏转 | $<1.5\times10^{-9}$ A | 实验室 | | |
| 电容 | QS-18A 型万能电桥 | 电桥原理 | pF ~ F | 实验室现场 | 携带式 | 仪器种类较多可按需要选择 |
| 电荷 | 法拉第箱（或法拉第笼） | 测取法拉第箱的电容及电位从而计算电荷 | 较宽 | 实验室 | | 按 $Q=CV$ 计算 |

### 10.5.3　防静电的技术措施有哪些？

1. 人体防静电

人体带静电是很容易发生的，必须采取措施予以避免。在涂装作业场所不允许穿化纤类衣服进入涂装区或已确定为爆炸危险场所，而应当穿采用导电纤维制作的防静电工作服和导电橡胶制作的防静电鞋。

人体电容与鞋底厚度的关系见表 10-19。

**表 10-19　人体电容与鞋底厚度的关系**

| 鞋底厚度/mm | 0.25 | 0.5 | 1.1 | 12.8 | 46 | 89 | 155 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 人体电容/pF | 6800 | 2300 | 850 | 190 | 130 | 100 | 7.5 |

2. 涂料防静电

涂装作业场所调剂涂料时，涂料在管道中流动的静电人体与流速的平方值成正比，涂料在管道中的流速应加以限制。管道中烃类油料流速的最高速度见表 10-20。

**表 10-20　管道中烃类油料的最高流速**

| 管径/cm | 1 | 2.5 | 5 | 10 | 20 | 40 | 60 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最大流速/(m/g) | 8 | 4.9 | 3.5 | 2.5 | 1.8 | 1.3 | 1.0 |

3. 正确接地防静电

接地是防静电最简单最常用的措施，其主要目的是使物体与大地之间构成电气上的泄漏电路，将产生衣物体上的静电泄漏于大地，防止在物体上贮存静电。

此外，接地还有以下的防静电目的：

1）防止位于带电物体附近的某物体或接触某物体的另一物体，受到带电物体的静电感应。

2）阻止带电物体的地位上升，或限止由此而产生静电放电。

4. 采用静电中和防静电

静电中和是静电消失的主要途径之一。静电中和是借助电子来完成的。静电中和器就是能产生电子和离子的装置。由于产生了电子和离子，物体上的静电电荷得到相反符号电荷的中和，从而消除静电危险。静电中和器有多种类型，用于涂装作业区城内消除静电的中和器，主要为感应式中和器。

### 10.5.4　静电涂装中的防静电设计有哪些注意事项?

涂装作业中，静电喷漆和粉末静电喷涂为主要的装饰性涂装。在此项作业中，防静电设计是一项主要的劳动安全和卫生设计，其主要注意事项如下：

1）防静电设计的首要环节是高压静电发生器，高压静电发生器的高压输出与高压电缆连接端应设置限流电阻，而高压电缆接入静电喷枪的电阻，其阻值应不大于 100MΩ，并定期检查。同时，高压电缆的屏蔽线应牢固地接入专用地线上。高压静电发生器应配置自动无火花放电器，当断开高压后，供消去残留在高压静电发生器上的电荷。配套用高压电缆宜有屏蔽层。无屏蔽层的高压电缆应悬挂安装。当静电场电压为 100kV 时，配电线和导体的最小间距可取 800mm。高压静电发生器的电源插座应为专用结构，插座中的接地端与专用地线连接，禁用零线代替地线。

2）供漆装置及其管道均应绝缘，不得触及接地的构件。供漆管（或供粉管）与静电喷涂室（或静电喷粉室）顶部的接触部分应增加防护套管，以增强绝缘性和耐磨性。

3）工件、喷枪支架，高压电缆的屏蔽线，静电喷涂室（或静电喷粉室）内的管道均应接地。其接电的电阻值不大于 100Ω，接地螺栓不小于 M6，并需作镀锌处理。当电气设备和灯具的专用接地与按零线或接地干线相连，必须并联。带静电物体的接地线必须连接牢靠，有较好的机械强度，否则在松断处易发生火花。对于活动性或临时性的带静电部件，不能靠自然接触接地，而应另用接地连接线接地。

4）静电喷涂枪（或静电喷粉枪）与接地设备、接地零件的最小间距应不小于与工

件间距的 3 倍。

5）操作者应穿着防止静电积聚的工作服，不得站立在塑料板或橡胶板上操作配电板，避免人体在静电场内感应电流。

6）静电喷涂枪与工件的间距，应按静电场电压选定，可取 15～18mm/6kV，静电场电压越高，其间距相应增加。

7）静电喷涂室内含有有机溶剂的废气采用高空排放时，必须考虑防雷措施。

8）对于架空管线，在入户处外必须接地或多点重复接地。

## 10.6　涂装防尘安全技术

### 10.6.1　涂装作业的粉尘来源有哪些?

涂装作业粉尘源主要来自三个方面：

（1）机械方法除锈过程生成的粉尘　包括手工具除锈、机动工具除锈、喷砂、喷丸、抛丸、滚磨等作业方式所生成的粉尘。这类粉尘颗粒的分散度见表 10-21。

表 10-21　机械除锈生成粉尘颗粒的分散度

| 机械除锈作业方式 | 粉尘颗粒直径/μm | | |
|---|---|---|---|
| | <5 | 5～10 | >10 |
| 手工具或机动工具除锈 | ～80 | ～(15～10) | ～(5～10) |
| 喷丸或喷砂除锈 | ～90 | ～5 | <5 |
| 抛丸除锈 | ～70 | ～20 | ～10 |

这类粉尘含游离的二氧化硅的重量取决于所用磨块和磨料。国内对喷砂用含 70%（质量分数）以上的石英砂的磨料是禁用的，但含石英砂 40%～70%（质量分数）的磨料仍有应用，为此造成石英砂粉尘浓度高。干喷砂除锈时，粉尘浓度往往达到 20～160mg/$m^3$。

（2）涂膜经手工打磨或机械打磨产生的粉尘　这类粉尘主要是从涂膜上剥落下来的，属于有机物粉尘，粉尘粒度比较细。大件所生成的粉尘浓度远比中小件严重，但由于粒度细，在空中悬浮时间长，粉尘浓度往往达到 30～90mg/$m^3$。

（3）粉末涂料涂覆过程生成的粉尘　这类粉尘污染是由于喷粉室设计不良而造成粉末外逸，往往在喷粉室的操作口处最为严重。

### 10.6.2　涂装作业的粉尘有哪些危害?

不同颗粒直径的粉尘对人体的危害也不同，主要是在呼吸道中被阻留程度有所不同，50μm 粒径的粉尘几乎完全被阻留在鼻、鼻咽、气管和大支气管内；10～15μm 的尘粒能被阻留在上呼吸道内；5～10μm 的尘粒能达到肺泡内，而大部分也可能被阻留在呼吸道内；0.1～5μm 的尘粒主要被阻留在肺泡内而形成尘肺。

尘肺是指肺内存在吸入的粉尘并与其发生非肿瘤的组织反应。按吸入粉尘种类的不同，可分为金属灰尘尘肺、混合性尘肺和硅肺。硅肺是长期吸入含游离二氧化硅的灰尘

所引起，是严重的职业病。

另外，根据烟尘本身的理化特性和作用部位的不同，可在人体内引起呼吸道、皮肤、耳、眼等处的疾病，其中最为严重而典型的危害是呼吸道炎症，主要是鼻腔疾病，常见的有肥大性鼻炎和萎缩性鼻炎。

### 10.6.3　涂装作业防尘安全原则有哪些?

涂装作业防尘安全的一般原则，主要为两个方面：一是消除或减少粉尘源，二是防止粉尘散发到操作区，使操作者不受粉尘危害。

1. 消除和减少粉尘源

1）采用带有良好防锈油脂的钢材，经脱脂后即得具有一定清洁度的基本无锈的钢材，而不需要进行机械除锈，即无粉尘产生。

2）根据工件外形批量和条件，对工件的除锈，尽可能地采用化学除锈，避免采用机械除锈，即避免粉尘产生。

3）当确定不得不采用机械除锈时，尽可能地采用湿式作业，可很大程度地减少灰尘，甚至可能完全消除灾尘。涂装作业最为典型的用湿式作业代替干式作业的技术措施有：用湿喷砂或称水喷砂代替干喷砂；用湿磨腻子或漆膜代替干磨腻子或漆膜。

4）当已确定用于喷砂机械除锈时，尽可能用真空喷砂代替或用喷丸取代或用抛丸取代；并应尽可能地用抛丸代替喷丸。

2. 防止粉尘散逸到操作区

1）采用密闭式设备，整体密闭或局部密闭，而又不影响操作，如小型密闭式喷砂室，操作者用带有防护手套的两只手通过手孔进入喷砂室，其余部分均系密闭，能阻隔粉尘对操作者的污染。

2）操作者佩戴防尘口罩、头盔和工作服，使机械除锈时生成的粉尘不致污染操作者。这是在大型喷砂室或大型喷丸室内进行喷砂作业或喷丸作业时，经常采用的技术措施。

3）采用通风除尘，这是防尘的综合措施中最主要和最常用的有效措施。通风有全面通风和局部通风两种方式，在防尘措施中都有应用。

### 10.6.4　如何采用真空喷砂防尘?

真空喷砂的粉尘控制是通过两部分实现，其一为喷枪结构控制，其二为回收除尘装置控制。

真空喷砂机喷枪结构如图 10-2 所

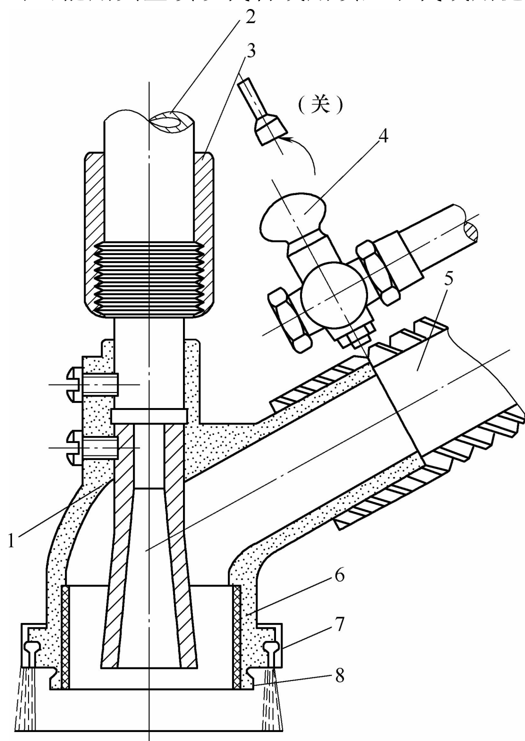



图 10-2　真空喷砂机喷枪结构

1—喷嘴　2—喷砂管　3—管接筒套　4—引流开关位置　5—磨料回收软管　6—枪体　7—刷子　8—橡皮护套

示。在喷射过程中，由于喷嘴出口段产生超声速气流喷枪由引射器造成的吸力大于喷射冲击的反作用力。在刷子的中心区是高速冲击的正压，而刷子四周却为一定的负压，使外界的空气沿着刷子下口边缘沉入枪体内部。这样粉尘不致外逸。

真空喷砂机的回收除尘装置中引射口直径的临界截面能可靠地回收所喷射的磨料，还有，回收除尘装置系采用二级除尘。第一级通过回收室将锈尘和磨料旋风分离，为了不使旋风分离器的网板堵塞，一般选用气振筛。第二级防尘一般采用布袋除尘器或纸质除尘器。

### 10.6.5　真空喷砂机的工作原理和特点是什么？

真空喷砂机通常由喷射系统和粉尘回收系统两部分组成。其工作原理与常见的一般压力吹砂原理相近似。其结构如图 10-3 所示。操作时，先开启气源开关和引射器开关，同时将压缩空气送入气活动塞腔，使阀塞上升，封闭贮砂室和喷砂间的孔道。由于气动活塞阀套与阀塞之间有较大的空隙，压缩空气沿空隙使喷砂室内充压。当喷砂室内的压力与进气管内压力达到平衡时，关闭喷枪旁边的引流开关，压缩空气就从混合室内引出，作为喷射气流把喷砂室内压送出来的磨料，通过喷枪高速冲击喷刷工件。

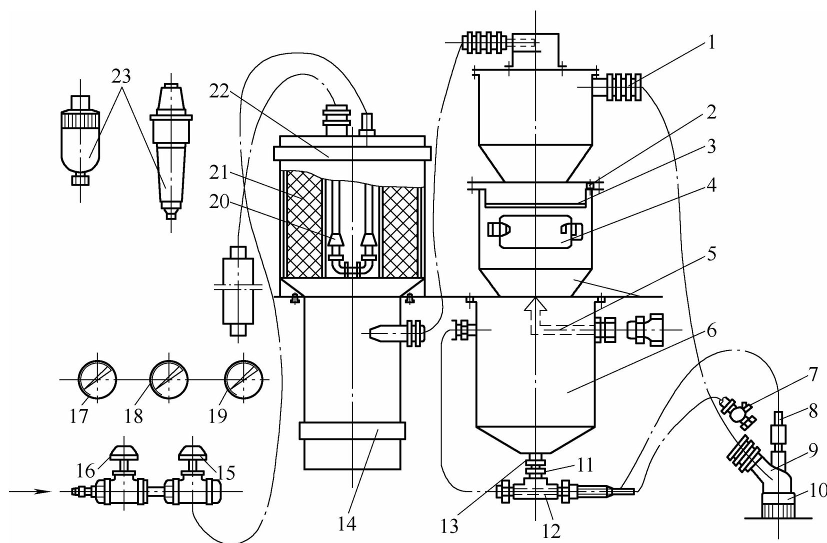



图 10-3　真空喷砂机机构

1—回收软管　2—碟形螺母　3—振动筛网板　4—目视窗口　5—气动活塞　6—喷砂室
7—引流开关　8—喷射管　9—枪体　10—刷子　11—插销　12—出料机　13—快速接头
14—盛灰斗密封圈　15—引射管开关　16—气源开关　17—外来气源表　18—真空压力表
19—喷砂气压表　20—引射器　21—除尘器　22—除尘器接口　23—水分滤气器

回收系统是用以形成回收室内的高度真空。回收室通道回收软管与喷枪枪体相连接，将喷射到工件上的高速气流与磨料混合物连同冲刷下来的锈尘一起高速吸入回收室。磨料沿回收室空壁的切线方向陆续散落，经振动筛过筛后进入贮砂室。经旋风分离后的锈尘由引射器抽出经除尘器二次除尘后，通过消声器排放。

### 10.6.6　如何采用湿式作业防尘？

涂装机械除锈一般都采用干式作业，如干式喷砂（通常称为喷砂）和干式打磨涂膜，粉尘污染严重。可采用湿式作业代替，即湿式喷砂和湿式打磨涂膜，以达到消除或减少粉尘的目的。这是涂装作业中最为有效的防尘技术措施。

（1）采用湿式喷砂代替干式喷砂　干式喷砂是涂装作业中最为严重的粉尘源。干式喷砂造成的粉尘浓度至少在 20mg/m$^3$ 以上，严重时，粉尘浓度可达 300mg/m$^3$ 以上。为减少喷砂除锈生成粉尘危害，最为显著的有效措施是用湿式喷砂代替干式喷砂。通过实测表明：湿式喷砂作业的操作区的粉尘浓度小于 2mg/m$^3$。

（2）采用湿式涂膜代替干磨涂膜　涂膜干式打磨的方法主要是用机动工具，如采用机动磨头或磨具或人工操作砂皮（或砂纸）进行打磨。打磨时会散逸出有机物粉尘，所生成的粉尘浓度往往超过 50mg/m$^3$，成为涂覆作业场所主要的粉尘源。

为消除或明显地减少干式打磨涂膜生成的粉尘，可采用湿式打磨（简称湿磨）代替。采用湿磨方法，劳动生产率虽低，但可获得细密的涂膜表面，有助于提高涂膜表面的平整度。

### 10.6.7　湿式喷砂机的工作原理及特点分别是什么？

采用湿式喷砂代替干式喷砂的基本条件，是设计和选用高效率的湿式喷砂机，或称为液体喷砂机。将自来水湿润磨料后形成磨液系统，由磨液泵输送并通道压缩空气，将磨液流喷射到工件上达到机械除锈的目的。

湿式喷砂机适用的磨料粒度为 20 号以上的磨粒或各种粒度号的磨粉和微粉，自来水消耗量甚少。自来水将磨料润湿后形成的磨液流通达直径为 8 ~ 12mm 的喷嘴喷出。湿式喷砂的动力源为 0.4 ~ 0.6MPa 的压缩空气。在喷枪混合腔处的压力一般不小于 0.2MPa。湿式喷砂作业时，除用压缩空气作动力源外，也可用磨液泵为动力源。

湿式喷砂机由喷射系统、分离器和收砂器三部分组成。在喷射系统工作时，应同时启动分离器水泵，将溢流出来的磨料进入分离器，再输回喷射系统的磨料贮箱。最后启用收砂器，将贮相中的磨料收集起来，收砂率可达 90% 以上。

湿式喷砂可消除或明显地减少涂装作业中的粉尘源，但会降低喷砂作业的生产率，增大压缩空气的消耗量。这两个缺点还有待改进。

### 10.6.8　喷抛丸除锈设备如何进行通风除尘？

喷抛丸除锈设备是涂装作业中最严重的粉尘源，除尘措施主要依靠通风和粉尘净化。

（1）通风措施　喷抛丸除锈设备的通风目的是，将设备内部如喷丸室和抛丸室内部的粉尘抽出，改善室内的能见度，同时保持室内一定的负压，防止喷抛丸室内粉尘外逸，减少涂装作业场所的粉尘污染。

（2）粉尘净化措施　喷抛丸除锈设备的粉尘净化，主要要求捕集 10 ~ 100μm 的尘粒。因此，一般具备 2 级或 3 级粉尘的净化系统。沉淀器是一种容积式粉尘分离器，它可以将气流中粗大颗粒沉淀。

（3）通风除尘的计算　喷抛丸除锈设备的通风除尘计算主要是计算所需的风量及阻力损失，以确定风机类型，并对粉尘净化后的含尘量浓度的计算。

# 10.7　涂装防噪声安全技术

## 10.7.1　涂装作业的噪声源有哪些?

1）机械除锈用的抛丸机，其噪声级的峰值经多次实测达到 120dB（A），噪声峰值分布在中频段。噪声的形成以机械和金属撞击声为主，同时还存在空气动力噪声。

2）酸洗除锈、化学脱脂、磷化、钝化后，所用热水浸洗槽在直通蒸汽加热时的蒸汽喷射，形成的噪声级在 92 ~ 100dB（A），峰值多在中高频段。这是一种典型的蒸汽气流形成的噪声源。

3）酸洗除锈、化学脱脂、磷化、钝化各种预处理作业的处理槽一例或两侧的通风装置，多为低压离心式风机，风压在 1000Pa 以下，风量在 3000 ~ 12000$m^3$/h 时，其噪声级为 90 ~ 98dB（A），峰值在中低频段。

4）喷涂用和气动式高压无气喷涂用的空压机，可为移动式或固定式，供气压力在 0.5 ~ 0.8MPa，供气量分别为 3、6 和 10$m^3$/min，噪声级为 88 ~ 98dB（A），峰值在低频段。

5）喷涂、高压无气喷涂和静电喷涂所配套的中小型喷涂室的通风装置，常用低压轴流式或低压离心式风机，其风压在 1000Pa 以下，风量在 8000 ~ 24000$m^3$/h 时，噪声级为 86 ~ 94dB（A），峰值在中低频段。为供大型产品如载重汽车、大型机床喷涂用的大型喷涂室的通风装置，所用低压离心式风机的风量在 40000 ~ 120000$m^3$/h 时，其噪声级往往超过 100dB（A），峰值在中低频段。

6）粉末静电喷涂所用的喷涂室-粉末回收系统所用风机都为高压离心风机，风压在 3300 ~ 3800Pa，风量在 1300 ~ 3000$m^3$/h 时，其噪声级在 100 ~ 102dB（A），峰值在中低频段。

7）粉末回收装置及其风管内风速一般为 20 ~ 30m/s，形成气流噪声，并通薄壁风管振动，生成表面辐射噪声，其噪声级也往往超过 85dB（A），为不可忽视的噪声源，因此作为噪声源的辐射面较大。

8）与电泳涂漆装置配套的且供夏季降温，使电泳槽内漆液冷却的氟利昂制冷机组，也是一个噪声源，其噪声级为 90dB（A），峰值为低频段。

9）腻子涂层和涂漆层在用风动工具打磨时，因操作者手持风动打磨工具，与噪声源距离很近，受到噪声影响却在 90dB（A）以上，是危害较大的一种噪声源。

10）固定式静电喷涂设备中，喷枪的上下往复运动机构产生噪声，如当用液压式驱动时，升降装置中的液压泵及其管道、阀件，也是一项噪声源。

11）各种喷涂室和喷粉室在配套的通风装置的激烈振动下，使其围护结构的薄壁和管道路壁振动，生成表面辐射噪声。上述噪声源产生噪声级，均可能超过《工业企业生产过程噪声控制规范》规定的允许值，即 85dB（A）以上，须要进行综合治理，将以上各种噪声源生成的噪声降低到噪声卫生标准规定的允许值以下。

## 10.7.2　涂装作业噪声治理有哪些一般原则?

噪声治理的主要原则是，消除或降低噪声源产生的噪声，这是最为有效的积极的治

理原则，其次为在噪声传播途径中控制噪声，以及采取个人防护噪声措施。

1. 消除或降低噪声源

由气体动力噪声生成的噪声源，其防止主要原则是：减弱气流的涡流噪声，如防止气流压力的突变；降低气体流速，减小气体压降或分散压降；改变气流频谱特性，有助于噪声控制，设计高效消声器和合理设置消声器位置；采取气流管道噪声控制，如调整管道支撑位置、包扎管道及在管道中装置孔板、脉动衰减器和缓冲器等。

由机械振动团体噪声生成的噪声源的主要防止原则是降低激振力；提高运动部件的平衡精度；增大材料阻尼；增大动刚度；采用减振器、隔振器和缓冲装置；控制运动部件的装配间隙，减少冲击，以及严格校正运动部件中心，改善润滑条件；采用隔声罩等。

表面辐射噪声的主要防止原则是，改变零件尺寸，如增大壁厚；或者改变零件的支承位置，以改变其固有频率，增大动刚度，如合理加肋；提高外表零件的阻尼，如涂覆高阻尼材料，或采用层状材料；采用隔声罩等。

综合上述，采用消声器、减振器、隔声器增大阻尼和提高运动部件的平衡精度等都是降低噪声源的常见的有效措施。

2. 改变噪声传播途径控制噪声

在考虑工厂总体布置时，应将高噪声的机器、车间与低噪声的机器、车间分隔开，把工厂与居民区分隔开，使两者之间保持足够的距离。如将空气压缩机站、通风机房、抛丸室布置在厂区较偏僻的位置，远离厂中心区，使噪声随距离增加而自然衰减。

为了减弱在传播途径上的噪声强度，还可以采用声屏障和栽种树木降低噪声。此外应采用隔声罩、隔声措施和吸声措施等控制噪声。

3. 采用个人防护用具控制噪声

若暂时不能采取噪声防护措施，或采取噪声防护措施后，噪声仍不能降到允许标准以下，就需要选用个人的噪声防护用具，主要有耳塞、耳罩、防声棉和防噪声贴，其中最常用的是耳塞和耳罩。

专用耳塞是插入外耳道的护耳器，其制备材料通常为软橡胶或软塑料，这种耳塞隔声量大，便于携带和保存。最简单的耳塞是用棉花球制备的，但隔声量小，如果用石蜡或甘油浸透的棉花塞入耳道隔声，但使用时不方便、不舒适。

耳罩的隔声量比耳塞好，其平均隔声量可达。耳罩主要由外壳、密封垫圈、内衬吸声材料和弓架组成。外壳一般用硬质材料（如硬塑料、金属板、硬橡胶）制作，内衬用泡沫塑料制作。与颅面接触的一面要采用柔软材料，如泡沫塑料、海绵橡胶衬垫。

帽盔的隔声效果与耳罩基本一样，它有明显的优点，如戴上较为舒服，冬天还可当帽子用，对头部也有保护作用。它的缺点是夏天闷热。

### 10.7.3　涂装作业的噪声治理有何步骤?

涂装作业的噪声源根据生产实践是基本可以了解和掌握的，在此基础上，噪声治理步骤如下：

（1）测量最高噪声源各频带的噪声级　在涂装作业中，最高噪声源通常是供喷漆用的空气压缩机的噪声，或者供粉末静电喷涂用的粉末回收装置中的高压离心风机的噪

声，或者是预处理作业中供通风净化的低压大风量离心风机的噪声。

（2）确定需要降低的噪声量　根据噪声允许标准与噪声现状比较，确定需要降低的总噪声量与各频带的噪声量。涂装作化为工业企业的组成部分。其噪声允许标准按《工业企业生产过程噪声控制规范》的规定生产车间和作业场所包括涂装车间和涂装作业场所在内，噪声容许标准为 85dB（A）。现有工业企业经过努力暂时达不到标准时，可适当放宽，但最高不得超过 90dB（A）。当涂装作业中，每天接触噪声不到 8h 时，噪声允许标准可按表 10-22 相应放宽，但最高不得超过 115dB（A）。

**表 10-22　工业企业生产过程噪声控制范围**

| 每个工作日接触噪声时间/h | 新建、扩建、改建企业的允许噪声级/dB（A） | 现有企业暂时达不到标准时的允许噪声级/dB（A） |
|---|---|---|
| 8 | 85 | 90 |
| 4 | 88 | 93 |
| 2 | 91 | 96 |
| 1 | 93 | 99 |

将涂装作业场所实测的噪声级与表 10-23 相比较，超过表 10-23 的噪声级即为需要降低的噪声量。

（3）选择噪声综合治理措施　根据需要降低的噪声量及其频谱范围，也即是噪声治理要求，选择噪声综合治理措施，因为往往单次治理不能奏效，通常都需要依靠综合治理措施，才能经济合理。

此外，在考虑噪声综合治理措施时，应尽量注意综合利用，例如，管道外面包扎的保温材料往往可以起吸声和隔声的作用。

### 10.7.4　如何利用通风机和空压机进行气流噪声治理？

通风系统的离心风机的风机叶轮在机壳内高速旋转，产生周期性气流吸声成为主要噪声源。所产生的噪声一方面从风机的进、送风口辐射出来；另一方面激励风机的机壳和通风管道，并使之振动，通过风机机壳和风管管壁辐射出噪声。还有，风机的底座与地面基础连接时，如未考虑减振，由于风机运行中的振动，还会通过基础，地面作固体声传导。

通风机的噪声强度应由设备制造厂提供的声功率级进行换算。风机的声功率级在国外系按统一测试方法测定，如美国就是按 AMCA（空气运动及控制协会）制订的标准，统一测试方法，规定风机出厂前，首先在试验中心的混响声内测定声功率级。我国制造的风机目前尚缺乏这方面的数据，只能用声级计进行现场实测，通常，风机的转速和风压越高，其噪声强度也越高。若制造、安装，维护保养不当，也可能会引起风机的噪声级增高。涂装作业中，最为常用的是低压离心风机和高压中小风量的高压离心风机，其噪声级范围见表 10-23。

当未具备实测条件，按风机的风量和全压可依据一下经验公式，计算风机的排气噪声级 $L_A$

**表 10-23　常用风机的噪声级范围**　　（单位：dB（A））

| 风机类型 | 进风口噪声 | 送风口噪声 | 机壳噪声 |
|---|---|---|---|
| 4-72 系列低压离心风机 | 82～98 | 80～97 | 82～92 |
| 8-18 系列高压离心风机 | 88～118 | 95～113 | 91～109 |

$$L_A = 10\lg Q + 20\lg P + A$$

式中　$Q$——风机的风量（$m^3/min$）；

$P$——风机的全压（Pa）；

$A$——常数，与风机的结构特性及测量距离有关。

对于风机进排风气流噪声的治理，主要应选用适宜的消声器。

### 10.7.5　如何设计与选用通风机消声器？

1）风机进排风气流噪声的频带较宽，而消声器的压力损失有严格限制，尽可能小，为此适用的消声器主要是阻性消声器或以阻性为主的阻抗复合式消声器。

2）为减少消声器的压力损失和再生噪声，消声器中的气流速度应控制在 30m/s 以下，消声器中吸声材料外面应饰以玻璃布和穿孔板，穿孔板的穿孔率不低于 25%，以防止吸声材料被气流吹走。

3）消声器的结构简单，重量轻，耗材少，装拆方便。美国用于离心式风机的多种消声器中，以采用阻性片式消声器较为典型，该种片式消声器的系列尺寸如下：（单位为 ft，1ft＝0.3048m）。

按照消声器的截面尺寸分数计，有以下 4 种，即长×宽为 2×2，3×2；3×3 和 4×4。每种截面尺寸的长度又可分为三种，即 3、5 和 7。此种消声器的消声量主要取决于消声器的长度，而消声器的截面尺寸形与风机的进排风管道选配一致。该种片式消声器的消声量特性见表 10-24。

**表 10-24　片式消声器的消声量**

| 消声器长度/ft | 风机进排风噪声频率/Hz | | | | | | | | 阻力损失 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K | |
| 3 | 3 | 9 | 15 | 20 | 24 | 24 | 20 | 16 | 0.3 |
| 5 | 6 | 17 | 22 | 28 | 30 | 30 | 26 | 22 | 0.5 |
| 7 | 9 | 21 | 28 | 33 | 35 | 35 | 29 | 25 | 0.6 |

国产 ZDL 型系阻性片式消声器的消声片分三种片型，采用换片结构，能够组成 5 种长度尺寸、130 多种不同规格，能满足 1000～350000$m^3/h$ 流量范围的风机使用。该种片式消声器的主要性能指标如下：

1）消声性能好，其消声量达到 15～20dB（A）/m。

2）空气动力好，阻力损失小，当以阻力系数表示时，阻力系数 $\zeta$ 为

$$\zeta < 0.4 + 0.25l$$

式中　$l$——消声器的长度（m）。

3）气流再生噪声较低，在 25m/s 流速下，气流再生噪声近似为 80dB（A）。

### 10.7.6　如何设计与选用空压机消声器？

涂装作业场所的气流噪声作为噪声源，除有通风系统的离心式风机造成以外，动力用空气压缩机的吸气端也是主要噪声源。它的噪声呈典型低频性噪声，其噪声峰值通常为 63～250Hz，而 2000Hz 以上频段一般低于 NR85 曲线，即在允许噪声级以下。为此治理空压机吸气端噪声时，对其高频段可不采取措施，仅需对 2000Hz 以下频段的噪声进行治理。

空压机吸气端噪声的治理，主要是根据选择和设计适宜的消声器，这类消声器应采用抗性扩张式消声器，或以扩张式消声器为主的阻抗复合式消声器。这类消声器的选样和设计要点如下：

（1）应具有适宜的消声量　空压机吸气端安装消声器后，噪声降低至比空压机的机械噪声略低即可，此时消声器即为适宜的消声量，若消声量提高，而空压机的机械噪声未得到降低，则无明显效益，在技术上经济上均不合理。

通过大量实测数据表明：供涂料作业采用的动力用交压机的机械噪声为 82～84dB（A），而其吸气端噪声为 94～98dB（A），所以吸气端消声器的适宜消声量应为 12～16dB（A）。

（2）消声器的阻力的大小　消声器的阻力损失小，阻力增大，将导致气流再生噪声增加，消声效果受影响。

（3）消声器的作用　消声器兼有空气过滤器的作用。

（4）消声器的结构　结构简单，外形尺寸小，装拆方便。

国内适用于涂装作业的动力用空压机吸气端的消声器已有系列产品，其中以 XL 型空压机消声器的效果较好，能够符合上述四项设计要点。

### 10.7.7　如何进行高压风机噪声治理？

高压风机噪声治理的主要方法是隔离噪声法，有采用隔声罩和声屏障隔离。

（1）采用隔声罩治理噪声　采用隔声罩将高压风机等罩起来，使其与操作者隔开，这是一种有效的噪声治理方法，完全能够将操作地点的噪声降低到允许标准以下。

（2）采用声屏障治理噪声　应用声屏障降低风机的噪声，是将声屏障设置于风机机组与操作人员之间，它降低噪声的作用是基于声波的衍（绕）射原理。在噪声传播途径中，声波受到屏障的阻挡而在屏障边缘产生衍射，从而在屏障背后形成一个声影区，在这个声影区内噪声有所降低。应用声屏障降低噪声，不需要护罩或其他围护结构格风机封闭。声屏障显著优点是其容易制备，安装方便。

### 10.7.8　制作隔声罩有哪些要求？

隔声罩在国内尚无通用性产品，需要自行设计制造。隔声罩主要由板材、吸声材料和阻尼层等构成。罩壳可用钢板、硬铝板和其他密度较大的板材制作。当罩壳采用薄钢板制作时，需在钢板上紧紧地粘贴一层软橡胶或涂一层阻尼涂料。阻尼涂料的厚度应大于钢板厚度的 2～3 倍，以便抑制钢板面的振动。

隔声罩内壁应衬以 30～50mm 厚的吸声材料，常用的吸声材料有细玻璃棉、多孔泡

沫塑料或矿渣棉。为了避免吸声材料散落，可在吸声材料外面罩以玻璃布，再以金属网成穿孔钢板作为护面层，穿孔铜板的孔径常取 3mm，穿孔率常取 20% ~30%。最后用金属压条或铁丝固定在罩壁上。

高压风机等设备通常需要散热，为此罩完需要设置通风换气口和风道，风道内壁常用聚氯酯泡沫塑料组成，并在风道与罩壳交接处安装进排气消声器，以降低散热通风气流生成的气体动力噪声。并要求该消声器的消声量与隔声罩的隔声量近似。

隔声罩要求密封，密封不严将使隔声效果大大降低。因此必须注意孔洞和隙缝的处理，当罩壁上有 1/100 面积的小孔时，隔声罩的隔声量将不会超过 20dB，宽 2 ~3mm 长 1m 的隙缝，也能透过 10dB。所以孔洞和隙缝必须用软橡胶充填，罩壁上的盖板关闭时必须用压紧机构扣紧压实，管道通过罩壁时需要用隔声套包扎。一般说来，隔声罩上的门、观察窗、通风口、隔声管套等构件都是薄弱环节，应采取措施提高隔声量，才不致影响整体隔声效果。

高压风机等设备及其基础的振动不可传递到隔声层，应尽量避免刚性连接。凡属相连接处和罩体支承处应采用弹性材料衬垫。还有，在罩体与风管的连接处宜采用帆布或蛇形管连接，连接部分的长度一般取 100 ~200mm。

为便于检修，隔声罩可由几个部件拼接而成，即做成活动型的。安装时要注意在各部件间的接缝处垫以弹性材料，并用专门的构件卡紧，以求严密封闭。

隔声罩的隔声量可按如下经验公式计算

$$TL = K[18\lg(f_1 M_1) - 44]$$

式中　$f_1$——隔声频率（Hz）；

$M_1$——隔声罩面密度（kg/m$^3$）；

$K$——修正系数（与隔声件结构和漏声程度等因素有关），一般取 0.5 ~0.8。

## 10.7.9　制作声屏障有哪些要求？

声屏障宜制成单元式，其平面可为板形、L 形等形式，断面形状宜为“遮檐式”，以提高衍射系数。它的结构简易，以冷弯薄壁型钢作骨轧中间夹一层 0.8 ~1.5mm 薄钢板作隔声层，钢板两侧衬贴一定厚度 50 ~100mm 的超细玻璃棉作吸声层，最外层用薄钢板网夹紧。声屏障的宽度尺寸宜略大于所治理风机机组的长度，每单元做成 0.6m、0.8m 或 1.0m，安装时将其拼接。单元体间的拼缝采用橡胶密封条连接，底部用钢螺栓固定于衬有乳胶海绵垫层的地面上，装拆便利。

声屏障的消声效果随声屏障高度 $H$ 与风机高度 $a$ 之比（即 $H/a$）以及声屏障宽度 $l$ 与风机机组长度 $b$ 之比（即 $l/b$）的增加而增大。

当声屏障后面的声影长度大于从声屏障到被保护点的距离时，可按下式近似地确定。此时 $H/a$ 和 $l/b$ 的比值影响很小，经验公式中未列入。

$$\Delta L \approx 20\lg \frac{1}{\lambda}\left[r_1\sqrt{1+\left(\frac{H}{r}\right)^2}+\sqrt{1+\left(\frac{H}{r^2}\right)^2}\right]$$

式中　$\Delta L$——声屏障的隔声量（dB）；

$r_1$——从声屏障到风机边界的距离（m）；

$r$——从声屏障到操作者位置的距离（m）；

$H$——声屏障的高度（m）；

$\lambda$——波长（m）。

### 10.7.10　蒸汽冲击噪声的治理包括哪些内容？

涂装预处理通常都需要设置几个清洗槽，清洗槽内的清洗液的加热常用蒸汽冲击加热方式，因此产生蒸汽冲击噪声，这种噪声可通过特制的蒸汽热水消声器来治理。

为正确设计这种蒸汽热水消声器，必须正确地掌握清洗槽蒸汽冲击噪声的生成机理。蒸汽冲击噪声生成的原因，是由于蒸汽冲击出管端与常温清洗液接触，温度迅速下降，气泡体积立即缩小，在管端处形成瞬时低压，并低于管外清洗液的压力，当清洗液迅速进入蒸汽管内，直至压力平衡。随后，蒸汽压力又大于清洗液压力，重复上述过程。如此，蒸汽和清洗液交替地迅速进出，冲击液体振动，形成严重的流体动力噪声。根据上述蒸汽冲击清洗液生成噪声的机理，即可相应设计特别消声器加以治理。

特制消声器可采用 19.1mm 的水管加工配制，在水管上钻 $\phi$0.2mm 小孔，每排 9 只，排距 10mm，共 46 排。管壁上小孔总截面宜大于管子截面的 4～8 倍。两头衬 10mm 的衬圈，外用 40 目以上长 4m 铜筛布缠绕，在两端用抱箍夹紧，中间用钢丝按一定间距缠绕防止松开。

此种特制消声器在清洗槽内应注意正确安装。有正装、15°斜装和并联组装三种安装位且需注意消声器底端不可上翘，其最底端距清洗槽内底内面应大于 150mm，以便所加热的清洗液能尽快通过对流传热升温。蒸汽由消声器管壁小孔喷出，此时压力已减小，能够与管壁外层钢筛布之间的清洗液接触传热，而没有冲击噪声。

特制消声器正确安装于清洗槽内，用噪声测量仪器距噪声源 1m 实测，实测结果与配置特制消声器之前比较，在 125Hz、250Hz、500Hz 和 1000Hz 处的噪声峰值，分别可由原来的 98dB（A）、94dB（A）、88dB（A）和 83dB（A）降低 15～20dB。

为配合各种尺寸洗槽和蒸汽直通加热装置，消声器也需要相应配套，即增大管径，除用 $\phi$19.1mm 水管制作以外，再增加用 $\phi$25.4mm、$\phi$38.1mm 和 $\phi$50.8mm 水管三种规格，适用的蒸汽量及其蒸汽压力和外形尺寸，见表 10-25。

**表 10-25　蒸汽直通加热特制消声器主要规格**

| 类型 | 管径/mm | 供热蒸汽量/(kg/h) | 适用蒸汽压力/MPa | 外形尺寸/mm |
|---|---|---|---|---|
| Ⅰ | 19.1(3/4″) | 230 | <0.5 | $\phi$60×420 |
| Ⅱ | 25.4(1″) | 360 | <0.5 | $\phi$72×460 |
| Ⅲ | 38.1(1½″) | 860 | <0.5 | $\phi$110×660 |
| Ⅳ | 50.8(2″) | 1400 | <0.5 | $\phi$140×740 |

### 10.7.11　对风管噪声如何进行综合治理？

高速气流在风管内流动造成薄壁风管振动，成为清洗作业场所的一种常见的噪声

源，往往忽视治理。风管噪声适宜用综合治理措施如下：

1）根据风管噪声治理要求来安排管道支承的位置，使管道的固有频率远离风管内气流的激振频率，防止管道发生共振。

2）在管道外壁涂覆沥青（橡胶阻尼涂料），涂覆前需认真地脱脂、除锈。采用刷涂方式，涂层厚度应为管壁厚度的两倍，试验结果表明，能降低噪声 4 ~ 6dB。

3）在管道外壁配制隔声层。隔声层的做法如下：先刷涂沥青阻尼浆；再紧附一层轻质多孔材料，如玻璃棉、矿渣棉、膨胀珍珠岩等，随后包扎石棉绳，然后刷涂水泥砂浆，最后用铁丝网或薄钢皮作保护层。采用这种风管隔声层可降低噪声 6 ~ 8dB。

4）适当增加风管壁厚。

## 10.8　涂装废气的治理

### 10.8.1　废气的主要来源有哪些？

涂料中的有机挥发性物质是造成大气污染的主要原因。而在涂装过程中的污染要比涂料制造厂严重得多。在涂料生产中，放入大气中的溶剂量不超过涂料制造时溶剂用量的 2%（质量分数），其中球磨法生产中的溶剂挥发不到 0.25%（质量分数）。然而，在涂料涂装过程中，随着涂料的种类和涂装方法的不同，损失由 20%（质量分数）到高达 80%（质量分数）。例如，在有气喷涂作业中，一般液态涂料溶剂含量的 50% ~ 70%（质量分数）在涂装过程中挥发到大气中。

涂装排出的在空气易造成污染的，除了有机溶剂以外，还有涂料喷雾粉尘，预处理喷砂、喷丸的粉尘、酸洗、磷化处理排放的碱性、酸性烟雾，打磨过程中的尘屑及涂料中热分解相反应生成物、如三乙基胺、丙烯醛、甲醛等。涂装中排放有害废气主要集中在喷涂生产线上。喷涂室、晾干室、烘干室是废气的主要发生源。

### 10.8.2　涂装排出的溶剂废气有何特征？

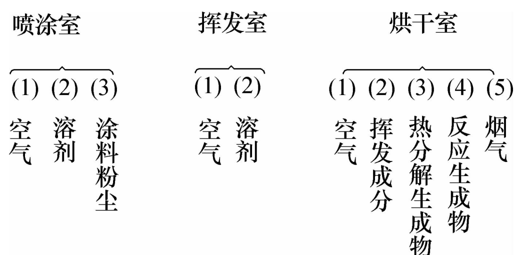
涂装作业场所的废气净化是防毒技术的重要组成部分。其中主要的废气排放源有三个部分：喷涂室、挥发室和烘干室，三者的排气特征如下：

（1）喷涂室的排气特征　为了保证喷涂室内有良好的作业环境，按照喷涂室的类型不同，喷涂室的风速必须控制在 0.25 ~ 1.0m/s，所以，喷涂室一般为大风量低浓度的排气（浓度约为 $10^{-5} \sim 2\times10^{-4}$），此外，还含有因过喷而形成的涂料漆雾，涂料颗粒粒径大约为 20 ~ 200μm。喷涂室排出溶剂废气的浓度，与喷涂作业的生产率和工件喷涂面积有关，连续式成批生产，排出溶剂废气浓度一般在 $(90 \sim 180)\times10^{-6}$；而单件小批的间歇式生产，有机溶剂废气排出浓度常为 $(30 \sim 60)\times10^{-6}$。

（2）挥发室的排气特征　在挥发室的排出溶剂废气中，几乎不含有漆雾，只含有机溶剂蒸气，其浓度通常低于喷涂室排出的溶剂废气。

（3）烘干室的排气特征　在烘干室排气中，包括从涂料中排出的物质和从燃料中排出的物质。前者残留在涂膜中的溶剂、增塑剂或树脂的挥发成分、热分解生成物、反应生成物。后者是燃料燃烧后的气体，其成分随燃料而异，主要是亚硫酸气体和烟气。

涂装作业中排气的发生顺序如下：




### 10.8.3　如何减少废气的释放?

1）提高涂料的固体含量，选择高固体分或低溶剂含量，无溶剂类型的涂料。无溶剂涂料和高固体分涂料，是涂料行业的发展趋势。在涂装过程中，尽管涂料价格稍贵，但一次涂装可得到较高的湿膜厚度、减少了涂装道数。缩短施工周期，并大大减少了溶剂的排放，具有极大的优势。

2）选择水作为涂料的溶剂，水性涂料和绿色溶剂涂料应用前景十分广阔。现在，建筑行业的涂料主要以水性涂料为主，特别是室内的内墙装饰需选择水性乳胶漆。在严重腐蚀环境中、可达到防腐蚀要求的水性涂料品种很少、这是目前的研究热点。

3）改善施工工艺。在涂料施工中，有气喷涂时产生的漆雾较多，溶剂超过 50%（质量分数）挥发到空气中；当采用高压无气喷涂时，它是以压缩空气为动力，以高压雾化喷涂，所以漆雾较少；与空气喷涂相比，可减少漆雾近 80%，大大降低了对环境的污染。中小型工件采用静电喷涂设备，涂料利用率高，漆雾更为降低。钢铁结构采用电泳涂装、以水为稀释剂，对空气无污染，但要处理废水。对结构复杂的物件，采用刷涂、辊涂等方法，也比喷涂方法减少污染。

4）在预处理过程中，采用高压水除锈或湿式喷砂，将粉尘污染降至最小，同时可提高除锈除污效率。操作人员用磨轮、砂纸等打磨金属、木器或腻子时，往往产生粉尘飞扬；因此，尽量采用湿打磨的方法，避免粉尘的污染。也可采用具有自动回收装置的小型喷砂、打磨设备。

### 10.8.4　如何对排放废气进行治理?

治理涂装废气的常用方法有活性炭吸附法、催化燃烧法和洗涤吸收法。

（1）活性炭吸附法　活性炭吸附法是利用活性炭作为吸附剂，把气体中的有害物质成分在活性炭庞大的固相表面进行吸附浓缩，从而达到净化废气的目的。用活性炭进行废气处理时，由于活性炭磨耗和粉化程度小，对低浓度、小风量的废气治理尤为有效。

（2）催化燃烧法　催化燃烧法是用催化剂使废气中可燃物质能在较低温度下氧化分解的净化方法。即将有机废气中的可燃物质，有机溶剂氧化成二氧化碳和水。催化燃烧是接触燃烧，没有火焰，催化剂在化学反应中只起促进反应，而本身没有变化或消耗的物质。

（3）洗涤吸收法　洗涤吸收法与活性炭吸附法和催化燃烧法相比，具有占地面积少和一次投资费用少的优点。

### 10.8.5　催化燃烧常用的催化剂有哪几类?

催化燃烧常用的催化剂有金属丝球式或网状式催化剂、颗粒状催化剂和层状催化剂三种。

（1）金属丝球式或网状式催化剂　把金属铂或使用电镀或化学浸渍沉淀方法，附着在镍铬合金丝或合金带的表面上，再搓成球状或编成网状。目前国内使用较多的一种是蓬体型钯催化剂，它是用半径 0.1mm 长 6m 的镍丝，搓成蓬体球（半径 25mm），经过表面清洁处理，在氯化物溶液中进行浸渍处理。这种催化剂在绝缘材料厂中应用得较多。

（2）颗粒状催化剂　使用多孔件载体-骨架氧化铝在载体上浸铂、浸钯或浸氧化物。也有的使用丝光沸石作为基体，经过特殊处理，也有的采用稀土的元素作为催化剂。

（3）层状催化剂　这是一种铂/氧化铝型催化剂，采用耐热陶瓷制成蜂窝状载体，在其表面涂上一层 α-氧化铝后，再浸铂或浸钯。然后，用砖砌等办法组成催化床层。这种催化剂已被广泛使用。其优点自由空间大，自身磨损小，不易粉化，气体通过阻力小，在阻力损失上是颗粒状催化剂的 1/20 ~ 1/100。

### 10.8.6　活性炭吸附常用的装置有哪些?

常用的活性炭吸附装置有垂直式吸附型、水平式吸附型、多段型和圆筒型。小型吸附一般用垂直式吸附型，大型吸附一般使用水平式吸附型。各种活性炭装置的特性比较见表 10-26。几种常用吸附装置的形式如图 10-4 所示。

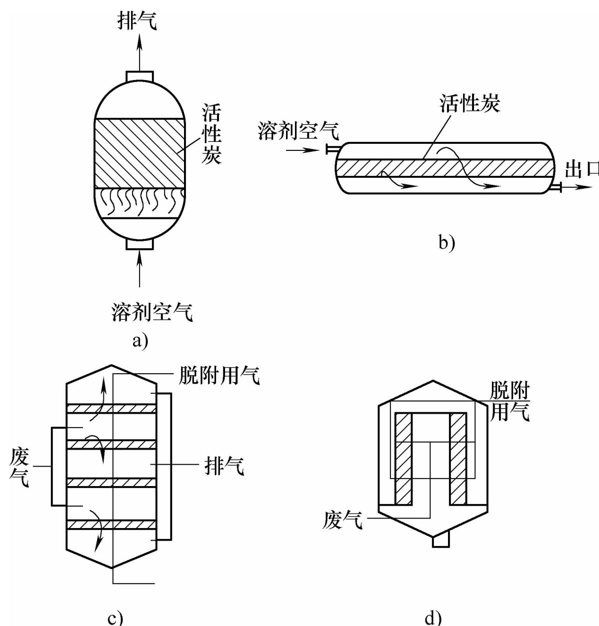



图 10-4　几种常用吸附装置的形式

a）垂直式吸附型　b）水平式吸附型　c）多段型　d）圆筒型

表 10-26　各种活性炭装置的特性比较

| | 吸附装置形式 | 特　征 | 处理风量/($m^3$/min) |
|---|---|---|---|
| 1 | 垂直式吸附型 | 构造简单、适合小风量、高浓度的废气治理 | 10～700 |
| 2 | 水平式吸附型 | 需要一定安装面积，适合大风量、高浓度的废气治理 | 200～2000 |
| 3 | 多段型 | 构造复杂，适合大风量、低浓度的废气治理 | 60～1500 |
| 4 | 圆筒型 | 在一定安装面积中，通风面积大，适合中等风量、低浓度废气治理 | — |

## 10.8.7　常用溶剂废气治理需要多少活性炭?

常用溶剂废气治理需要的活性炭量见表 10-27。

表 10-27　常用溶剂废气治理需要的活性炭量

| 成分 | 0℃时的蒸汽压/(×133.322Pa) | 0℃时饱和成分浓度($×10^{-6}$) | $1m^3$ 空气成分重量/kg | 吸附容器/(kg/kg) | $1m^3$ 空气所需活性炭量/kg | 活性炭量/L |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 苯 | 10 | 13157 | 0.0458 | 0.21 | 0.19 | 0.38 |
| 甲苯 | 5.5 | 7236 | 0.0297 | 0.29 | 0.10 | 0.20 |
| 二甲苯 | 2 | 2631 | 0.0125 | 0.34 | 0.039 | 0.078 |
| 甲醇 | 26 | 34210 | 0.048 | 0.25 | 0.19 | 0.38 |
| 乙酸甲酯 | 20 | 26316 | 0.103 | 0.38 | 0.27 | 0.54 |
| 丙酮 | 75 | 9868 | 0.026 | 0.32 | 0.079 | 0.158 |
| 甲乙酮 | 25 | 32894 | 0.106 | 0.32 | 0.33 | 0.66 |
| 己烷 | 40 | 53000 | 0.202 | 0.29 | 0.70 | 1.40 |
| 三氯乙烯 | 17.4 | 22900 | 0.134 | 0.49 | 0.27 | 0.54 |
| 四氯乙烯 | 9.2 | 5500 | 0.0408 | 0.58 | 0.07 | 0.14 |
| 异丁醇 | 0.5 | 650 | 0.00258 | 0.17 | 0.02 | 0.04 |
| 普通汽油 | 230 | 302631 | 1.162 | 0.25 | 4.65 | 1.30 |
| 高辛烷值汽油 | 230 | 302631 | 1.162 | 0.31 | 3.74 | 7.49 |

## 10.8.8　催化剂中毒的原因有哪些?

催化燃烧装置在运行过程中，因使用不当或预处理差造成催化剂活性衰退以至中毒，有如下几种原因：

1）由于在处理过程中废气里含有特殊有毒物质时，可使催化剂中毒而钝化。这些毒质是：磷、铋、锑、砷、汞、锌、铅、锡等金属或金属蒸气。其中，磷、铋、锑、砷、汞为快速作用毒质，铅、锌、锡为慢速作用毒质。

2）易碎的玻璃水银温度计和镀锌的白铁构件不能使用磷化法。通常遇到废气中有微量的毒质时，因为钝化的部位是均匀分布在化学活性位置上的，所以可用提高预热温

度来补偿维持一个阶段。但是，短时暴露在高浓度的毒质中，则会造成局部或全部催化剂完全丧失活性，这时，只有更换催化剂。

### 10.8.9　工业常用吸附剂有哪些？

工业常用吸附剂有活性炭、活性氧化铝、沸石、活性土等。在这些物质中，活性炭每单位重量的炭面积最大，表面上有无数的小孔，吸附量高、脱附效率最高。表 10-28 为常见的工业吸附剂的物理性质。

**表 10-28　常见的工业用吸附剂的物理性质**

| 吸附剂 / 物理性质 | 活性炭 | | 氧化硅冻胶 | 氧化铝冻胶 | 活性土 | | 分子筛（沸石） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 粒状 | 粉状 | | | 粒状 | 粉状 | |
| 真密度/($g/cm^3$) | 2.0～2.2 | 1.9～2.2 | 2.2～2.3 | 3.0～3.3 | 2.4～2.6 | 2.4～2.6 | 2.0～2.5 |
| 粒密度/($g/cm^3$) | 0.6～1.0 | — | 0.8～1.3 | 0.9～1.9 | 0.8～1.2 | — | 0.9～1.3 |
| 充填密度/($g/cm^3$) | 0.35～0.6 | 0.15～0.6 | 0.5～0.85 | 0.5～1.0 | 0.45～0.55 | 0.3～0.5 | 0.6～0.75 |
| 空间率 | 0.33～0.45 | 0.45～0.75 | 0.4～0.45 | 0.4～0.45 | 0.4～0.45 | 0.4～0.7 | 0.32～0.4 |
| 细孔容积/($cm^3/g$) | 0.5～1.1 | 0.5～1.4 | 0.3～0.8 | 0.3～0.8 | 0.6～0.8 | 0.6～0.8 | 0.4～0.6 |
| 比表面积/($m^2/g$) | 700～1500 | 700～1600 | 200～600 | 150～350 | 100～250 | 100～250 | 400～750 |
| 平均孔/nm | 120～400 | 150～400 | 200～1200 | 400～1500 | 800～1800 | 800～1800 | — |

### 10.8.10　如何选择洗涤吸收法的吸收装置？

在符合必要液气比的前提下，吸收由气膜控制时，应选择气膜物质移动系数大的装置，若用液膜控制时，应选择液膜物质移动系数大的装置。一般化学吸收时，考虑以气膜控制为好。吸收装置有液体、气体分散的区别。一般在分散相下，流体紊乱比连续相要小。吸收装置的分类见表 10-29。

**表 10-29　吸收装置的分类**

| 装置名称 | 气液分散形式 | 气膜物质移动系数 | 液膜物质移动系数 |
|---|---|---|---|
| 填料塔 | 液相分散型 | 中 | 中 |
| 喷淋塔 | | 小 | 小 |
| 旋风洗涤器 | | 中 | 小 |
| 文氏管洗涤器 | | 大 | 中 |
| 水力过滤器 | | 中 | 中 |
| 泡罩塔 | 气相分散型 | 小 | 中 |
| 喷射洗涤器 | | 中 | 中 |
| 气泡塔 | | 小 | 大 |
| 气泡搅拌槽 | | 中 | 大 |

在常见的几种吸收装置中，依据以下三项技术作为评价指标选择，即适用于较大风量含溶剂废气的治理，如 3000～5000$m^3$/L 风量；材料消耗和造价及日常动力消耗和维

护管理方便程度。常用吸收装置特性比较见表 10-30。

**表 10-30　吸收装置的特性比较**

| 装置名称 | 气体 | | | | 粉　尘 | | | 粉尘 | | | 液滴 | 雾粒 | 烟 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 有害气体 | | | 吸收时有化学反应 | 液气比 /($L/m^3$) | 空塔速度 /(m/s) | 阻力损失 /(×9.8Pa) | >5μm | | <5μm | >10μm | ≤10μm | <1μm |
| | 溶解度大 | 溶解度小 | | | | | | 低浓度 | 高浓度 | | | | |
| 填料塔(逆流) | ○ | ○ | | ○ | | | | ○ | × | × | △ | ○ | × |
| 填料塔(顺流) | ▲ | △ | | ○ | 1～10 | 0.3～1.0 | 50mm$H_2O$ /m 塔高 | ○ | × | × | △ | ○ | × |
| 填料塔(交叉流) | ○ | △ | | ○ | | | | ○ | × | × | △ | ○ | × |
| 旋风洗涤器 | △ | × | | ▲ | 0.5～5 | 1～3 | 50～300 | ▲ | ▲ | × | △× | ○ | × |
| 文氏管洗涤器 | △ | × | | △ | 0.3～1.2 | 300～100 (喉口) | 300～900 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 喷淋塔 | △ | × | | △ | 0.1～1.0 | 0.2～1.0 | 20～90 | ▲ | ▲ | × | × | ▲ | × |
| 喷射洗涤器 | △ | × | | △ | 10～100 | 20～50 (喷口) | 0～200 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ▲ |

注：×—不合适；○—$\eta$=95%～99%；▲—$\eta$=85%～95%；△—$\eta$=75%～85%。

## 10.9　降低 VOC 排放在工业上的应用

### 10.9.1　VOC 是什么?

VOC 是挥发性有机化合物（volatile organic compounds）的英文缩写。美国 ASTM D3960-2005 标准将 VOC 定义为任何能参加大气光化学反应的有机化合物。美国联邦环保署（EPA）的定义：挥发性有机化合物是除 CO、$CO_2$、$H_2CO_3$、金属碳化物、金属碳酸盐和碳酸铵外，任何参加大气光化学反应的碳化合物。

世界卫生组织（WHO）1989 年对总挥发性有机化合物（TVOC）的定义为：熔点低于室温而沸点在 50～260℃之间的挥发性有机化合物的总称。

有关色漆和清漆通用术语的国际标准 ISO 4618/1—1998 和德国 DIN 55649-2000 标准对 VOC 的定义是：原则上，在常温常压下，任何能自发挥发的有机液体和/或固体。同时，德国 DIN 55649-2000 标准在测定 VOC 含量时，又做了一个限定，即在通常压力条件下，沸点或初馏点低于或等于 250℃的任何有机化合物。

巴斯夫公司则认为，最方便和最常见的方法是根据沸点来界定哪些物质属于 VOC，而最普遍的共识认为 VOC 是指那些沸点等于或低于 250℃的化学物质。所以沸点超过 250℃的那些物质不归入 VOC 的范畴，往往称为增塑剂。

### 10.9.2　建筑领域对降低 VOC 涂装可采取哪些措施?

建筑领域主要是对水泥墙体和其他材料进行涂漆。混凝土表面涂漆主要起装饰作用，采用水性乳胶涂料，并依靠导入有机氟、有机硅、聚氨酯系树脂，赋予建筑涂料高

耐候性、高耐久性、耐溶剂性和耐污染性。高性能建材涂料的用途正在扩大，而对于铝窗框、螺纹钢筋，电泳涂料占有重要地位。

此外，在防锈涂料方面，含有磷酸盐系等无公害防锈颜料、并以环氧树脂为主体的乳胶涂料，已作为环境适应型水基防锈涂料被实用化。

高固体分型涂料和无溶剂型涂料在建筑领域也有相应的应用：聚氨酯、环氧无溶剂涂料仅用于地面；而高固体分涂料正在建筑物外壁、屋面和铁件上被逐渐使用。

**10.9.3　钢铁结构件重防腐涂装为降低 VOC 可采取哪些措施?**

对于大型钢铁结构件、桥梁和其他装置，需要耐久的防腐蚀和装饰性，因而在重防腐领域中利用水性化来削减溶剂，技术方面还存在很多问题。

使用醇酸、环氧、聚氨酯、改性环氧、氟树脂、氯化橡胶等涂料都是溶剂性色漆。现在，醇酸树脂涂料已高固体分化，改性环氧树脂、环氧树脂及聚氨酯已开发出高固体分型和无溶剂型涂料，它们的应用已有相当的增加。

**10.9.4　船舶领域对降低 VOC 涂装可采取哪些措施?**

船舶防腐蚀涂装体系主要考虑船底部的防污件、对浸水部位的适应性、对干湿交替部位的适应性、上部构件的耐候性、载物仓位的耐久性等诸多方面的各种要求。

船底部防腐蚀涂料低 VOC 化困难较多，主要倾向于醇酸、环氧、环氧沥青等树脂涂料和聚氨酯涂料的高固体分化和无溶剂化。

**10.9.5　汽车领域为降低 VOC 涂装可采取哪些措施?**

汽车维修领域，轿车车身部位只喷涂聚氨酯树脂涂料，醇酸树脂涂料则用作底盘部位的维护涂装。

维修时的低 VOC 涂装体系方案：对车身部位的底漆及面应采用高固体分化或水性化涂料；对于底盘用涂料，水性化所占比例会进一步增加。

对新车，倾向于水系涂料、高固体分涂料和粉末涂料。底漆采用阴极电泳已很普遍，中涂则向水性化和粉末涂料迈进。在欧洲，采用金属漆成为压倒多数，占汽车涂装溶剂排放量约 50% 的金属底色漆转向水性化，而提高耐候性、水性化、粉末化的透明罩光涂层的涂装体系已进入实用阶段。

**10.9.6　家电、金属制品领域为降低 VOC 涂装可采取哪些措施?**

以前生产的洗衣机、冰箱、家电产品和自动售货机等以溶剂型丙烯酸树脂烘漆为主，也有部分使用聚酯系粉末涂料，现在采用高固体分涂料的同时，粉末涂料的应用也日益普及，并推广了彩色钢板（PCM）的使用。

办公用品以前多使用氨基醇酸树脂涂料涂饰，现在正向环氧、聚酯粉末涂料转换，加速进入粉末化和高固体分化的时代。

关于 PCM，将推进粉末化、高固体分化涂料的使用；并采用辊涂等涂料损失少的施工方法；或在高温烘干时，设置溶剂回收系统并将回收的溶剂作为热源利用，构成一个封闭系统来解决 VOC 排放的问题。

食品包装罐的涂漆一直是以环氧树脂内壁涂料为主体，现在开始采用具有良好柔韧性的环氧系阳离子型水性涂料及高固体分涂料的低 VOC 对策方案。

# 10.10　涂装废渣的治理

## 10.10.1　涂装车间废渣的来源有哪些?

工矿企业排出的固体废弃物统称为废渣。涂料制造厂的废弃物发生量约为涂料生产量的 1%，而废溶剂约为涂料的 2 倍，随生产品种和花色增多，清洗溶剂、废涂料及容器、抹布等废弃物随之增多，约为涂料生产量的 2% ~4%。涂装工厂的废弃物发生量与生产方式、涂料品种、涂装方法、被涂物的形状和大小等因素有关。涂着效率与喷涂室中捕捉废漆渣的发生量成反比，如涂着效率在 30% ~90% 宽范围内时，其喷涂室的漆渣产生量与涂着效率成反比。即涂着效率高，其产生漆渣量少，反之漆渣产量大。

另外，当生产线换色、清扫时的涂料和在库中不能使用的涂料为 5% ~10%，同样废溶剂发生量为 5% ~10%。涂装车间废渣的来源如下：

1）预处理过程中产生的沉淀物，如化学成膜时产生的沉渣。

2）清理涂料输送管道及容器时产生的和由于涂料变质产生的废涂料。

3）清理涂装设备时产生的涂料凝块。

4）水性树脂涂料产生的淤渣。

5）涂料车间废水处理过程中产生的沉渣。

预处理产生的废渣成分主要是不溶于水的金属盐类，而涂料废渣则是颜色、树脂及少量溶剂。

## 10.10.2　涂装车间废渣的种类及特点有哪些?

1）废涂料，如仍呈液体状，其组成和性能与原涂料差别不大。会混色、弄脏涂料。

2）废溶剂，如清洗设备、容器等的溶剂，含有少量油、树脂、颜料等。

3）涂料废渣，如其中还有腻子、已胶冻涂料、喷涂室的废渣、剥落旧漆皮和蒸馏溶剂后的残渣。

4）水性沉渣，如水性废涂料、废水处理后沉淀。

5）其他，例如废的涂料桶、塑料容器、颜料包装袋、废旧布、旧手套及空木箱等。

## 10.10.3　废渣排放如何控制?

废渣排放的控制按 GB Z1—2010 进行处理。为了提高产品质量、降低成本，应尽量减少废弃物的发生量。减少废弃物发生量的对策如下：

1）提高涂着效率。涂装工厂中废弃物的主要发生量是喷涂室的漆渣，而漆渣的发生量与涂着效率成反比。因此减少废弃物必须提高涂着效率。

2）将已混色的废涂料和新涂料混合后，作为要求不高的底漆等使用。

3）废溶剂可再生处理后使用，通常处理废溶剂可采用真空蒸馏和水蒸气蒸馏方法。当废溶剂中含有树脂、颜料等，可用等量水，再加入乳化剂，搅拌混合后静置，除去底部树脂、颜料等的胶冻物。上层清液用溶剂回收方法处理可得到清洁的再生溶剂。

## 10.10.4　废弃物处理方法有哪些?

从涂料涂装工厂排出的废弃物，按工业废弃物分类。大部分属废油类，按照废弃物处理法令，废油类严禁深埋和投入海洋处理，必须进行焚烧处理。与涂装有关的废弃物

多数属于易燃物，因此适用于焚烧处理。

涂料涂装废弃物处理时，首先应根据废弃物的性质、组成，特别是发热量等设计出较好的处理方法和方案。但在实际中按每种涂料的废弃物来考虑，比较麻烦。各种废弃物的发热量见表 10-31。

**表 10-31　各种废弃物的发热量**　（单位：J/kg）

| 废弃物种类 | 废溶剂 | 合成树脂型的废涂料 | 涂料渣 | 油型涂料 |
|---|---|---|---|---|
| 发热量 | 37690200 | 29207600 | 20934000 | 14643800 |

### 10.10.5　废弃物的处理方式如何选择？

废弃物处理，根据国内情况来看，仅有极少数企业自行处理，而绝大多数企业都将废弃物委托专门工厂处理，其理由如下：

1）涂装工厂废弃物品种多，而且绝大多数属易燃易爆物质，在焚烧时，需考虑防火、安全等措施，因此废弃物处理装置庞大，占地面积大，许多工厂受场地限制，同时受防火、安全等措施的制约。

2）最终处理达到环保要求较困难，因为燃烧过程中会产生有害废弃物，因此最终废弃物分离较困难。

3）投资费用大，因各工厂使用的涂料和溶剂多种多样，因此废弃物中的废涂料和废溶剂也是多种多样，同时在焚烧过程中，会产生二次污染，所以安全措施应全面考虑，使设备投资费用更大。

由于上述原因，单个工厂建立废弃物处理设施是不经济的。按地区和行业统一建立废弃物处理，可将废弃物分类焚烧。从防止二次污染、安全、防火等技术和经济性等方面考虑更为合理。

### 10.10.6　废弃物处理装置如何选择？

废弃物处理装置一般由破碎压缩、分选、焚烧、回收及无害化处理装置组成。其中最重要的是焚烧炉，焚烧炉种类繁多，可以将废弃物安全方便地投入炉中，其处理效果好。应根据废弃物的种类、性质和发生量等诸多因素选择焚烧炉，并应与贮存、搬运、破碎等预处理和废热综合利用，废水、废气和灰分等处理装置配套成综合的处理线。应按以下因素选择焚烧炉：

1）液状和固状废弃物的发生比率。

2）焚烧灰分产生量的大小。

3）有无有害气体发生。

4）废弃物的发热量等。

如果选用的焚烧炉与实际废弃物不相适应，则不仅降低焚烧炉的效率，还可能造成事故，所以设计废弃物处理方法之前，一定要很好地调查了解。

### 10.10.7　燃烧中有哪些注意事项？

因为涂料和涂装的废弃物大部分为易燃物，所以采用焚烧法可减少废弃物的量，在处理时还应考虑降低成本和节约资源，因此应注意以下几点：

1）谋求资源的有效利用，减少废弃物的发生量。

2）考虑资源回收，再利用。

3）应将废弃物分类收集，并按废弃物种类采用最适宜的处理方式。

4）防止二次综合污染。

5）防止火灾等事故。

当焚烧中有有害气体发生时，如废弃物中含有氯化橡胶、聚氯乙烯和含氟树脂涂料等，焚烧时有氯化氢和氟化氢气体产生，炉体结构材料和气体水洗设备等必须选用耐蚀性强的材料。

另外，焚烧后的灰分中是否有有害物质，应涉及灰分的处理方法。当含有铅、铬化合物颜料的涂料焚烧时，需进行必要的有关有害物质的分析检查。同时应单独焚烧，以便从不含有害物质的焚烧灰分中分离出来，可减少处理量，便于进行最终处理。

有些涂料渣呈大块状，不能原封不动地投入焚烧炉，同时为防止废气中粉尘对大气的污染，除设置有害气体吸收装置外，还必须配置静电除尘装置和抽引式洗涤器，并经常注意炉内温度、燃烧量度及燃烧状况，防止异常燃烧，产生恶臭和黑浓烟。

## 10.11 涂装防腐蚀安全技术

### 10.11.1 防腐蚀涂装系统的设计包括哪些内容?

防腐蚀涂装系统的设计主要包括以下几个部分：

1）腐蚀环境和工作条件的分析评估。

2）涂装系统确定。

3）施工过程质量控制与监理，确保施工质量。

4）质量要求与现场验收。

5）经济核算，追求最佳的技术经济效益和社会效益。

### 10.11.2 如何进行腐蚀环境和工作条件的分析评估?

分析评估待涂设备和装置的使用环境和工作运行条件及技术要求，是正确选择合适涂料品种和确定涂装系统的先决条件，是防腐蚀涂装设计中首先必须解决的问题。在分析评估中要着重考察以下两点：

1）被涂构件的环境条件、损伤形式、失效机理和寿命要求。

2）被涂构件的材料种类、结构形式、施工特点和使用要求。

### 10.11.3 如何正确确定涂装系统?

涂装系统确定包括涂料品种的选择和配套涂装系统的选择，涂装前、后处理和涂装工艺方法的确定等。正确确定涂装系统要保证以下两点：

1）严格预处理，确保涂层与基体结合强度，以确保安全和使用可靠性。例如，钢铸件一般在喷砂处理后，立即涂上底漆，若需磷化，则在磷化 24h 内涂上底漆。

2）底、中、面漆之间的匹配性良好，保证良好的层间附着力且第二道漆对第一道漆无咬底现象，各漆层之间应有相同或相近的热膨胀系数。

### 10.11.4 常用防腐蚀涂料有哪些类型？

按成膜物质类型划分，常用防腐蚀涂料通常有如下七类：

1）酚醛树脂防腐蚀涂料。

2）环氧树脂防腐蚀涂料。

3）聚氨酯防腐蚀涂料。

4）乙烯树脂防腐蚀涂料。

5）过氯乙烯树脂防腐蚀涂料。

6）大漆类防腐蚀涂料。

7）橡胶类防腐蚀涂料。

### 10.11.5 如何保证防腐蚀涂料涂层之间的重涂适应性？

一些防腐蚀涂料间的重涂适应性见表 10-32。

**表 10-32 一些防腐蚀涂料间的重涂适应性**

| 在下层的原涂装涂料 | 覆涂涂料 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 长曝型磷化底漆 | 无机富锌底漆 | 有机富锌底漆 | 油性防锈漆 | 醇酸树脂涂料 | 酚醛树脂涂料 | 氯化橡胶类涂料 | 乙烯树脂涂料 | 环氧树脂涂料 | 聚氨酯涂料 |
| 长曝型磷化底漆 | × | × | × | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | △ | △ |
| 无机富锌底漆 | ✓ | ✓ | ✓ | × | × | × | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 有机富锌底漆 | ✓ | × | ✓ | × | × | × | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 油性防锈漆 | × | × | × | ✓ | ✓ | ✓ | × | × | × | × |
| 醇酸树脂涂料 | × | × | × | ✓ | ✓ | ✓ | × | × | × | × |
| 酚醛树脂涂料 | × | × | × | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | △ | △ | △ |
| 氯化橡胶类涂料 | × | × | × | × | ✓ | ✓ | ✓ | × | × | × |
| 乙烯树脂涂料 | × | × | × | × | × | × | × | ✓ | × | × |
| 环氧树脂涂料 | × | × | × | × | △ | △ | △ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 聚氨酯涂料 | × | × | × | × | △ | △ | △ | ✓ | ✓ | ✓ |

注：✓—可以重涂；×—不可以覆涂；△—一定条件下可以覆涂。

### 10.11.6 对不同用途涂层的厚度有哪些规定？

不同用途涂层的厚度一般遵照表 10-33 进行控制。

**表 10-33 不同用途涂层的厚度控制**

| 涂层类别 | 应控制的总厚度/μm | 涂层类别 | 应控制的总厚度/μm |
|---|---|---|---|
| 一般性涂层 | 80～100 | 耐磨、防腐蚀涂层 | 250～300 |
| 装饰性涂层 | 80～100 | 超重防腐蚀涂层 | 300～500 |
| 防腐蚀涂层 | 100～150 | 高固体分涂层 | 700～1000 |
| 重防蚀涂层 | 150～300 | | |

# 第 11 章　涂装作业环境保护

## 11.1　涂装作业环境污染及其控制原则

### 11.1.1　什么是涂装作业环境保护?

涂装作业过程中，排放出大量的废气、废水和部分废渣。尤其是废气，由于治理难度大，是涂装污染最棘手的问题。涂装时，涂料中的溶剂及所加的稀料全部散发进入大气中（至少每年在 800 万吨以上），对大气臭氧产生很大的破坏作用并产生严重的温室效应。在涂装工作地点，则存在对工人身体健康产生的直接危害和潜在的燃爆事故隐患。为此，世界各国都制定了严格的控制挥发性有机化合物（VOC）排放的法规，并制定了处理废物的方法。以此来减轻对环境的损害，防治环境破坏或者造成人员伤病。

### 11.1.2　环境保护的任务是什么?

所谓环境保护大致包括两个方面：保护自然环境和防治环境污染。也就是说，要运用现代环境科学的理论和方法，在更好地利用自然资源的同时，深入认识、掌握污染和破坏环境的根源及危害，预防环境恶化，控制环境污染，促进人类和环境协调发展。

为此，环境保护的主要工作内容有：①污染源调查和污染物监测；②环境背景调查和环境质量评价；③环境污染的控制和防治；④自然环境保护的宏观控制；⑤环境标准、规定的制订和实施，环境科学研究和宣传教育；⑥环境规划和预测等。

### 11.1.3　环境污染的防治措施有哪些?

我国的环境污染主要是工业污染，防治工业污染，必须实行“防治结合，以防为主，综合治理”的方针。“防”就是一靠环境政策，二靠环境管理；“治”主要靠科学技术，运用各种治理手段进行综合治理。

### 11.1.4　涂装作业中的有害物质有哪些?

涂装作业中产生的有害物质，随使用的涂料品种和处理的方法不同，其有害物质种类，含量也不同，按有害物质的存在形态来分，可分为废水、废气和废渣。涂装作业中有害物的种类及来源见表 11-1。

**表 11-1　涂装作业中有害物的种类及来源**

| 种类 | 主要来源 | 主要成分 |
|---|---|---|
| 废水 | 1）脱脂、酸洗、磷化等预处理<br>2）喷涂底、中、面漆中喷漆室排出废水<br>3）浸涂、打磨腻子等冲洗水 | 酸液、碱液及重金属盐类<br>颜料、填料、树脂、有机溶剂<br>颜料、填料、树脂、有机溶剂 |

（续）

| 种类 | 主 要 来 源 | 主 要 成 分 |
|---|---|---|
| 废气 | 1）喷涂室排出废气<br>2）挥发室排出废气<br>3）烘干室排出废气 | 均含有甲苯、酯类、醇类、酮类<br>有机溶剂、涂料热分解产物及反应生成物中醛类、胺类 |
| 废渣 | 1）磷化后沉渣<br>2）水溶性涂料产生淤渣<br>3）废旧漆渣，漆料变质 | 金属盐类<br>树脂、颜料、填料<br>树脂、颜料、填料 |

### 11.1.5　涂装废物的危害有哪些？

1）水体遭受酸、碱的污染后，酸碱度发生变化，水中的微生物受到抑制，阻碍水体的自净能力，同时危害鱼类及水生物的生长。

2）含油污的废液排入水体，油污漂浮于水表面形成油膜，使大气与水面隔绝，破坏正常的充氧条件，导致水体缺氧，破坏水生植物的光合作用。

3）重金属离子不能被生物降解为无害物，它在环境或生物体内富集，对人和其他生物造成危害。

4）含高化学耗氧量的废液排入水体，会导致水体缺氧，使水生物生存困难，大量死亡，水色变浑浊，环境卫生恶化。

5）磷酸盐排入水体使水质过肥，水藻类大量繁殖，导致水体缺氧，使水中生态环境失去平衡，使船舶航行受阻。

6）当含氟的废物通过富集作用进入人体后，会抑制人体骨组织对钙离子的正常吸收，引起低血钙、氟斑牙等疾病，危害人体健康。

### 11.1.6　工业涂装有害物质的处理途径有哪些？

工业涂装有害物质的处理有两个途径：一是改变产品的结构和施工方法，可从根本上消除或减少涂装作业中有害物质的产生。如生产无害和低毒的涂料，逐渐减少生产严重污染环境的涂料。开发生产水性涂料、粉末涂料、高固体分涂料、非水分涂料等，以减少对大气的污染。同时采用高效涂装工艺，提高涂料的附着效率，减少涂料的飞散。采用高效低毒预处理剂及工艺，取代钝化工序以消除铬离子的污染。二是对涂装作业中产生的有害物质进行有效的、科学的、经济的处理。

### 11.1.7　涂装现场对环境的管理有何原则？

许多先进企业都实行“5S”管理，即整理、整顿、清扫、清洁、修养五个方面的管理，取得了较好的效果。

（1）整理　区分需要与不需要的物品，把不需要的扔掉。

（2）整顿　把需要的物品按便于使用的原则整齐放置，明确标示，一目了然。

（3）清扫　经常扫除，保持清洁。

（4）清洁　不断保持整理、整顿、清扫的成果。

（5）修养　具有正确遵守规则、执行决策的习惯。

# 11.2　涂装废水处理

## 11.2.1　工业涂装的废水来源及种类有哪些？

由涂装工序排出的废水，其来源和种类见表 11-2。这些污水随使用涂料种类、预处理剂种类和浓度而不同，涂装材料及组成见表 11-3。涂装生产线上的废水及有害物质浓度见表 11-4。

**表 11-2　涂装作业废水来源和种类**

| 序号 | 废　水　来　源 | 废　水　种　类 |
|---|---|---|
| 1 | 钣金冲压工序 | 拉延油，防锈油等 |
| 2 | 金属涂装预处理工序 | 脱脂、酸洗、磷化等废水及冲洗水 |
| 3 | 涂（浸）底漆工序 | 喷底漆、电泳和浸底漆等污染水 |
| 4 | 涂中间涂层工序 | 喷涂中间涂层，打磨腻子等污水 |
| 5 | 涂面漆工序 | 喷面漆的污水 |

**表 11-3　涂装材料及组成**

| 类别 | | 颜料 | 水不溶树脂 | 水可溶树脂 | 溶剂 | 活性剂 | 酸 | 碱 | 铬 | 氰 | 锌 | 其　他 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 金属表面处理剂 | 碱性脱脂剂 | — | — | — | △ | ○ | — | ○ | — | — | — | 添加剂等 |
| | 酸性除锈剂 | — | — | — | △ | ○ | ○ | — | — | — | — | 添加剂等 |
| | 磷化处理剂 | — | — | — | — | — | ○ | — | △ | — | ○ | 添加剂等 |
| | 后处理剂 | — | — | — | — | — | ○ | — | ○ | — | — | 添加剂等 |
| | 铝合金处理剂 | — | — | — | — | — | ○ | — | ○ | △ | — | 添加剂等 |
| 溶剂性涂料 | | ○ | ○ | — | ○ | △ | — | — | | — | — | 添加剂、助剂等 |
| 水乳胶涂料 | | ○ | ○ | — | △ | △ | — | — | | — | — | 添加剂、助剂等 |
| 水性树脂涂料 | | ○ | — | ○ | △ | △ | — | △ | | — | — | 添加剂、助剂等 |
| 电泳涂料 | | ○ | — | ○ | △ | △ | — | △ | △ | — | — | 添加剂、助剂等 |

注：△表示含量小；○表示含量大。

**表 11-4　涂装生产线上的废水及有害物浓度**

| 项　　目 | 锌系磷化（汽车生产线） | 铬酸盐类（铝合金） | 电泳冲洗水（汽车制品） | 水系涂料（5% 废水） | 水性烘烤涂料（5% 喷漆废水） |
|---|---|---|---|---|---|
| pH | 6.5 ~ 7.5 | 2.5 ~ 5.5 | 6.8 ~ 8.2 | 6 ~ 8.5 | 6 ~ 8.5 |
| 悬浮物（$10^{-6}$） | 30 ~ 130 | 100 ~ 1000 | 500 ~ 1200 | > 12000 | > 10000 |
| 化学需氧量（$10^{-6}$） | 25 ~ 60 | 400 ~ 500 | 500 ~ 1800 | > 6000 | > 15000 |

### 11.2.2　废水排放有何标准?

国家制定的《环境保护法》、《地面水环境质量标准》、《污水综合排放标准》、《工业废水排放试行标准》等是各行业都必须遵循的法律和规定。

排放的污染物按其性质可分为两类。

第一类污染物，指能在环境或动植物体内蓄积，对人体健康产生长远不良影响者，含有此类有害污染物质的污水，不分行业和污水排放方式，也不分受纳水体的功能类别，一律在车间或车间处理设施排出口取样，其最高允许排放浓度必须符合表 11-5 中规定。但不得用稀释的方法替代必要的处理。

**表 11-5　第一类污染物最高允许排放浓度**　　（单位：g/L）

| 污染物 | 最高允许排放浓度 | 污染物 | 最高允许排放浓度 |
|---|---|---|---|
| 1）总汞 | 0.05 | 5）六价铬 | 0.5 |
| 2）烷基汞 | 不得检出 | 6）总砷 | 0.5 |
| 3）总镉 | 0.1 | 7）总铅 | 1.0 |
| 4）总铬 | 1.5 | 8）总镍 | 1.0 |

第二类污染物，指其长远影响小于第一类的污染物质，在排污单位排出口取样，其最高允许排放浓度和部分行业最高允许排放浓度必须符合表 11-6 的规定。

**表 11-6　第二类污染物最高允许排放浓度**　　（单位：g/L）

| 序号 | 污　染　物 | 最高允许排放浓度 | 序号 | 污　染　物 | 最高允许排放浓度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | pH 值 | 6～9 | 11 | 氨氮 | 25 |
| 2 | 色度(稀释倍数) | 80 | 12 | 氟化物 | 10 |
| 3 | 悬浮物 | 150 | 13 | 磷酸盐(以 p 计) | 1.0 |
| 4 | 生物需氧量 | 30 | 14 | 甲醛 | 2.0 |
| 5 | 化学需氧量 | 150 | 15 | 苯胺类 | 2.0 |
| 6 | 石油类 | 10 | 16 | 硝基苯类 | 3.0 |
| 7 | 动植物油 | 15 | 17 | 阴离子型合成洗涤剂 | 10 |
| 8 | 挥发酚 | 0.5 | 18 | 铜 | 1.0 |
| 9 | 氰化物 | 0.5 | 19 | 锌 | 5.0 |
| 10 | 硫化物 | 1.0 | 20 | 锰 | 2.0 |

注：为排入潜水性回流和封闭性水域控制指标。

### 11.2.3　涂装前废水有哪些?

金属表面预处理工序主要有酸洗、碱洗、表调、磷化及钝化封闭后处理。

在使用过程中，各处理液的功能将不断下降（或者失效），为了维持正常生产，保证产品质量，必须定期更换槽液。槽液可能整槽倒掉，也可能是排出一部分，并补入新液。不同种类处理液的更新不尽相同，但更换周期大致如下：

（1）脱脂液　1 星期。

（2）酸洗液　7～10 天。

（3）磷化液　2～3 次/年

（4）表调液　7～15 天。

（5）后处理液　10～15 天。

除这些废液之外，还有各道工序后的冲洗废水，它们的污染物浓度要比相应的废液低得多，但冲洗水的消耗量和排放量却很大。

### 11.2.4　脱脂废水的来源及组分有哪些?

脱脂废水来源于化学或电化学脱脂的表面活性剂或清洗剂脱脂的废液，来源不同其成分有差异。

（1）化学或电化学脱脂废水　含有各种碱类，如 NaOH、$Na_2CO_3$、$Na_3PO_4$，洗下的各种矿物油，新生成的皂类，当加入表面活性剂时则含有少量的表面活性剂，以及铁的氢氧化物和其他杂质等。

（2）表面活性剂或清洗剂脱脂废水　这种废水含各类表面活性剂，洗涤助剂如磷酸盐、硫酸盐、碳酸盐等洗下的油类等。

### 11.2.5　脱脂废水各有何特点及相同点是什么?

（1）化学或电化学脱脂废水的特点　这种废水的特点是 pH 值高（一般大于 10），洗下的动植物油则生成溶于水的皂类，有利于矿物油的乳化和分散，而矿物油不生成皂类，也不溶于水，由于溶液温度高，碱、盐含量多，矿物油也难形成稳定的乳化液，一般均浮于水面。这种废水一般不含有毒组分。

（2）表面活性剂或清洗剂脱脂废水的特点　这种废水的特点是 pH 值一般比碱脱脂废水低，洗下的油多呈乳化状态，油污多时也浮于液面。这种废水一般也不含有毒组分。

脱脂废水的共同点是碱和无机盐的含量比较高，pH 值也比较高，可用以中和含酸废水。其次是洗下的油污大多数浮于液面，易于分离除去，并对去油液性能影响不大，因此在生产中只需补充新的组分，不必经常更换溶液，可以减少废水的处理量。第三是基本无毒，不会对生态及人体直接造成破坏和危害。

### 11.2.6　废水的处理方法有哪些?

常用废水处理方法和适用于涂装废水的处理方法分别见表 11-7 和表 11-8。

**表 11-7　常用的废水处理方法**

| 分类 | 处理方法 | 特　征 |
|---|---|---|
| 物理法 | 1）沉淀法 | 根据重力分离沉淀物质 |
| | 2）过滤法 | 用多孔物质将悬浮物从滤液中分离 |
| | 3）热处理法 | 浓缩、干燥、燃烧 |
| | 4）曝气法 | 通气使还原物质氧化 |
| | 5）吸附法 | 用活性炭或其他吸附性物质吸附有害物质、色素等 |
| | 6）浮上法 | 利用气泡和固体粒子粘附 |
| | 7）膜分离法 | 用超滤、反渗透使污染物浓度降低 |

（续）

| 分类 | 处理方法 | 特　征 |
|---|---|---|
| 化学法 | 1）中和法<br>2）氧化还原法<br>3）药品处理法<br>4）离子交换法 | 用酸碱中和处理<br>用亚硫酸钠，空气，氯气等氧化还原<br>用絮凝剂使固液分离<br>用离子交换树脂，进行离子交换，处理含重金属废水 |
| 生物法 | 1）散水滤床法<br>2）厌氧生物处理<br>3）好氧生物处理 | 生物长期曝露分解<br>厌氧型细菌使有机物分解<br>好氧细菌使有机物分解 |

**表 11-8　各种废水适应的处理方法**

| 处理对象 | | | 适应操作法 | |
|---|---|---|---|---|
| 分类 | 特征 | 主要组成 | | |
| 浮游物质 | 粗大固体物<br>沉淀型浮游物<br>漂浮型浮游物<br>胶体型浮游物 | 粗砂、尘埃<br>细砂、泥<br>油、漆渣<br>重金属氢氧化物 | 过滤法<br>沉淀法<br>浮上分离<br>凝聚沉淀法 | 一次处理 |
| 溶解性物质 | 水浮化油<br>可溶性无机物 | 切削用浮化液<br>脱脂废水<br>重金属类<br>铬酸、氰、氰离子 | 凝聚沉淀法<br>吸附处理<br>中和，调整 pH 值<br>还原，凝聚，吸附<br>离子交换，蒸发，反渗透 | 二次处理<br>三次处理 |
| 溶解性物质 | 溶解性有机物 | BOD，COD 源，活性染料，酚及其他 | 生物分解，吸附，臭氧分解，反渗透 | 三次处理 |
| 淤渣 | | 凝聚沉降的淤浆<br>污泥 | 浓缩，脱水<br>干燥 | 多次处理 |

## 11.2.7　什么是废水的浮上分离处理法？

浮上分离法适用于凝集物质自身的密度比水轻的场合。单靠与水的密度差进行分离的称为重力式浮上分离法。而在凝集浮游物上附着着细小的气泡，使其密度减小，浮在废水表面上的分离方法称为加压浮上分离法。

浮上分离法的构成和实例如下：

（1）滞留式浮上分离法　它仅适用于含油类的废水靠自然浮上的物质分离，滞留式浮上分离法如图 11-1 所示。该装置由废水处理槽、油捕集器和油浓缩槽组成。即把废水停留后，用油捕集器收集并使油浓缩而除去的方法。该方法只根据油浮上的速度和分离量等来决定分离时间。

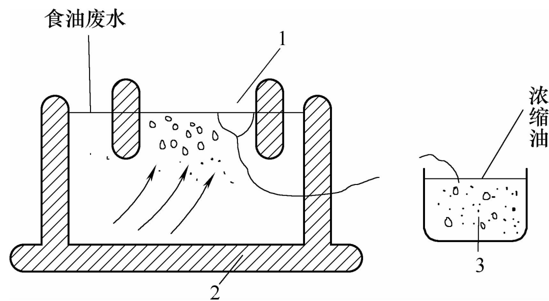



图 11-1　滞留式浮上分离法

1—油捕集器　2—废水处理槽　3—浓缩油槽

（2）加压浮上分离法　它适用于单靠沉淀或自然上浮分离速度小的场合，或把密度大的粒子同时浓缩的情况。加压浮上法如图 11-2 所示。高压空气压入部分处理水中再与其余废水混合并减压至常压，加压时，溶解的空气以气泡形式析出并附着在废水中的粒子上，而达到分离的目的。

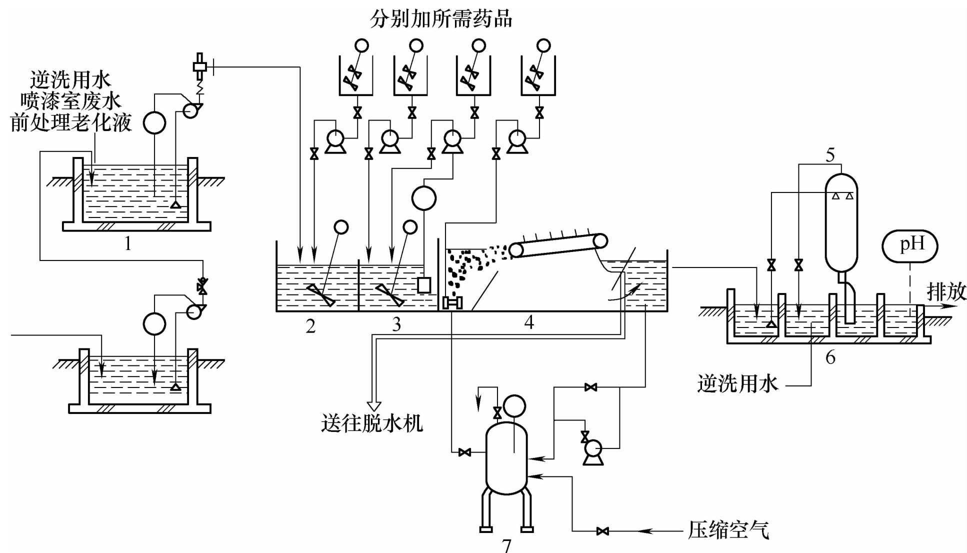



图 11-2　加压浮上分离法

1—废水收集槽　2—混合槽　3—反应槽　4—浮上分离槽　5—过滤塔　6—水处理槽　7—加压罐

### 11.2.8　什么是废水的凝集沉淀处理法？

浑浊的废水一般都具有胶体溶液的性质，并且都带有负电荷，胶体粒子表面扩散双电层的存在，使粒子间具有同性电荷的排斥作用而稳定地漂浮在水液中。

凝集沉淀法的原理就是向废水中加入絮凝剂，降低胶粒表面电位，使扩散层变薄，使胶粒的布朗运动足以克服表面双电层电位的束缚，从而使胶粒之间易于碰撞凝集成大尺寸的团絮物。团絮物还具有强烈的吸附性，故能同时除去水中的无机物、有机质、细

菌、微生物等污染物。

絮凝剂种类分酸性絮凝剂（硫酸亚铁、硫酸铁、硫酸铝、明矾等）、碱性絮凝剂（熟石灰、生石灰、皂土、碳酸钠等），高分子絮凝剂（聚丙烯酰胺、聚丙烯酸、马来酸共聚物等）。对于高价金属离子絮凝剂，通过水解作用，自身能形成胶团以吸附废水中的杂质。使用高分子絮凝剂时，对用量必须很好地把握，过少不起作用，过多则起分散作用，絮凝剂效果反而下降。常用无机絮凝剂和辅助剂性能见表 11-9；常用高分子絮凝剂见表 11-10。

**表 11-9　常用无机絮凝剂和辅助剂性能**

| 名称 | 化学式（相对分子量） | 商品成分（%） | 形状 | 密度 /（$kg/m^3$） | 溶解性（100 克水中的溶解量） | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 0℃ | 10℃ | 20℃ | 30℃ |
| 硫酸铝 | $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ （666） | $Al_2O_3$ 15～22 | 块状<br>粒状<br>粉状 | 992～1072<br>960～1008<br>560～720 | 60.8 | 65.3 | 71.0 | 78.8 |
| 硫酸亚铁 | $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ （278） | $FeSO_4$ 55<br>Fe 20 | 结晶<br>粒状 | 1008～1056 | 28.7 | 37.5 | 48.5 | 60.2 |
| 硫酸铁 | $Fe_2(SO_4)_3$ （400） | $Fe_2(SO_4)_3$ 90～94<br>Fe 25～26 | 粉状<br>粉末 | 1120～1152 | 溶解性非常大 | | | |
| 氯化铁 | $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ （270） | $FeCl_3$ 59～61<br>Fe 20～21 | 块状 | — | — | 81.9 | — | — |
| 铝酸钠 | $Na_2O \cdot Al_2O_3$ （164） | $Al_2O_3$ 55<br>$Na_2O$ 35 | 结晶 | 800～960 | — | 34.0 | — | — |
| 铵明矾 | $Al_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)SO_4 \cdot 24H_2O$ （906） | $Al_2O_3$ 11 | 块状<br>粉状 | 1024～1088<br>960 | 3.9 | 9.5 | 15.1 | 20.0 |
| 钾明矾 | $Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$ （949） | $Al_2O_3$ 10～11 | 块状<br>粉状<br>粉末 | 992～1072<br>960～1040<br>960 | 5.7 | 7.6 | 11.4 | 16.6 |
| 熟石灰 | $Ca(OH)_2$ （74.1） | $Ca(OH)_2$ 85～99<br>CaO 63～73 | 粉末 | 416～640<br>1120 | 0.18 | 0.17 | 0.16 | 0.15 |
| 生石灰 | CaO （56.1） | CaO 75～99 | 块状<br>板状<br>粒状 | 896～1040<br>960～1040<br>800～1120 | — | — | — | — |
| 碳酸钠 | $Na_2CO_3$ （106） | $Na_2CO_3$ 99.4<br>$Na_2O$ 58 | 粉末 | 368～560～1040 | 7.0 | 12.5 | 21.5 | 38.8 |
| 结晶碳酸钠 | $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ （286） | $Na_2O$ 21 | 块状<br>结晶 | 1088～1136 | 18.9 | 33.8 | 58.0 | 105 |

（续）

| 名称 | 化学式（相对分子量） | 商品成分（%） | 形状 | 密度/（$kg/m^3$） | 溶解性（100 克水中的溶解量） | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 0℃ | 10℃ | 20℃ | 30℃ |
| 氧化镁 | MgO（40） | MgO　95 | 粉末 | — | — | $Mg(OH)_2$ 0.002 以下 | — | — |
| 皂土 | $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 \cdot 3MgO \cdot 4SiO_3 \cdot nH_2O$ | — | 粉末 | 960 | — | 不溶解 | — | |

**表 11-10　常用高分子絮凝剂**

| 分类 | | 高分子絮凝剂 |
|---|---|---|
| 聚合度 | 离子型 | |
| 低聚合度（相对分子质量：1000～数万） | 阴离子型 | 海藻酸钠，CMC-Na，其他 |
| | 阳离子型 | 水溶性苯胺树脂盐酸盐，聚硫脲盐酸盐，聚乙烯亚胺，聚乙烯甲基三氯化铵，其他 |
| | 非离子型 | 淀粉，水溶性尿素树脂；其他 |
| | 两型 | 明胶，其他 |
| 高聚合度（相对分子质量：数十万～10000000） | 阴离子型 | 聚丙烯酸钠，马来酸共聚物盐，聚丙烯酰胺部分水解物盐及其他 |
| | 阳离子型 | 聚乙烯吡啶盐酸盐，乙烯吡啶共聚合物盐及其他 |
| | 非离子型 | 聚丙烯酰胺，聚氧化乙烯 |

凝集沉降法不适宜短时间内大废水量的处理。例如，0.001～0.1μm 的胶体粒子，每米沉降时间需 2 年以上；0.01～0.1mm 的泥沙，每米沉降时间需 20min～18h。

金属预处理废水的凝集沉淀处理流程图如图 11-3 所示。废水处理前后水质性能见表 11-11。

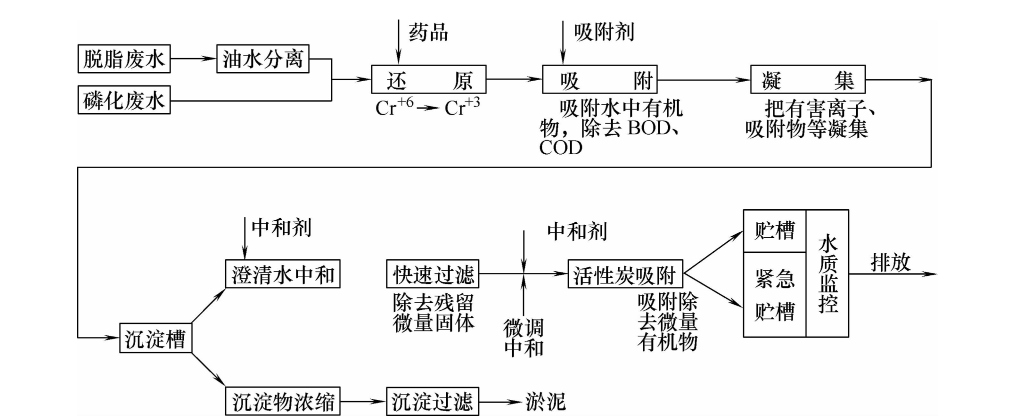



图 11-3　金属预处理废水的凝集沉淀处理流程图

**表 11-11　废水处理前后水质性能**

| 项　　目 | 废水的水质 | 处理后的水质 | 项　　目 | 废水的水质 | 处理后的水质 |
|---|---|---|---|---|---|
| pH | 4.5 | 中性 | $n$-H($10^{-6}$) | 300 | <1 |
| 悬浮物($10^{-6}$) | 500 | <5 | 含铬量($10^{-6}$) | 60 | <0.1 |
| COD($10^{-6}$) | 300 | <5 | $Cr^{+6}$($10^{-6}$) | 50 | 检不出 |
| BOD($10^{-6}$) | 50 | <5 | | | |

其处理工艺如下：

（1）脱脂　用上浮法除去脱脂水中的油分。

（2）还原　将废水中所含毒性大的六价铬离子还原为三价铬离子。

（3）吸附　为除去废水中有机物（活性剂，残留的油等），使用特殊的吸收剂。

（4）凝集　为沉淀还原工序产生 $Cr^{3+}$ 的 $Cr_2(SO_4)_3$，用 pH 指示调整计自动注入 $Ca(OH)_2$，同时为使悬浊物粗粒化，再需添加无机絮凝剂 $Al_2(SO_4)_3$，这样可使废水中存在的铝、氟，磷酸等同时沉淀。

（5）沉淀槽和沉渣处理　上述工序中反应物沉淀在底部，将上部澄清水流出，沉淀物浓缩后用脱水机进行脱水处理。

（6）中和　将上述由沉淀槽上部流出的澄清水，用 pH 值调整计自动注入中和剂，中和到达到排放标准值为 pH（7±0.5）。常用中和剂为 NaOH 溶液。

（7）迅速过滤　为除去由沉淀槽流出微量污物（以悬浮为主），通过过滤材迅速进行过滤。

（8）活性炭吸附　经上述过滤水通常可以排放，但尚有微量的有机物，再通过粒状的活性炭塔，可达到极微量的程度。

（9）pH 值监视和排放槽　应监视处理水排放口的 pH 值，为防治万一发生异常时不能向厂外排放的情况，在排故处应设置有预备槽。

### 11.2.9　什么是废水的离子交换法？

利用离子交换剂具有等当量地交换离子的作用，即离子交换树脂基体上的离子交换基，能从废水中吸取某阳离子或阴离子，同时把本身所具有的另外一种与吸取的离子电荷符号相同的离子等当量的交换，放出到废水中，使废水得到处理，或使废水中的有害物质得到回收和利用。

离子型交换树脂的交换作用的过程，可分为下列五个步骤：

1）溶液内的离子扩散至树脂表面。

2）再由树脂表面扩散到树脂内部的交换位置。

3）离子起交换作用。

4）被交换掉的离子扩散到树脂表面。

5）从树脂表面离开而扩散到溶液内。

离子交换树脂按照其离子基团化学性质可分为阳离子交换树脂和阴离子交换树脂。同时按照活性基团离解的难易程度，又可分为强酸型和弱酸型，前者的活性基是磺酸

基，后者为羧基。而阴离子交换树脂分为含季胺基的强碱性和含伯胺基、仲胺基、叔胺基的弱碱性阴离子交换树脂。有时按出厂形式，分为 H 型、Na 型、OH 型和 Cl 型等。常用离子交换树脂性能见表 11-12。

**表 11-12　常用离子交换树脂性能**

| 类　　型 | 强酸性阳离子 | 弱酸性阳离子 | 强碱性阴离子 | 弱碱性阴离子 |
|---|---|---|---|---|
| 母体 | 苯乙烯～二乙烯苯 | 甲基丙烯酸～二乙烯苯 | 苯乙烯～二乙烯苯 | 苯乙烯～二乙烯苯<br>环氧丙烷～四乙烯五胺 |
| 活性基因 | $—SO_3H^{1-}$ | $—COOH^{1-}$ | $—N(CH_3)_3^{1+}$ | $—NH_2=NH,\equiv N$ |
| 常用离子形式 | $Na^+$ | $H^+$ | $Cl^-$ | $—OH^-,—Cl^-$ |
| 外观 | 透明黄色球体 | 乳白色球体 | 透明黄色球体 | 透明黄色球体 |
| 总交换容量/(mol/L) | 4.5 | 9.0～10.0 | 3.0～4.0 | 5～9 |
| 工作交换容量/(mol/L) | 1.5～2.0 | 2.0～3.5 | 1.0～1.2 | 1.0～2.0 |
| 有效粒径/mm | 0.3～1.2 | 0.3～0.8 | 0.3～1.2 | 0.3～1.2 |
| 真密度/(g/mL) | 1.2～1.3 | 1.1～1.2 | 1.0～1.1 | 1.0～1.1 |
| 视密度/(g/mL) | 0.75～0.85 | 0.7～0.8 | 0.65～0.75 | 0.65～0.75 |
| 含水量(%) | 40～50 | 40～60 | 40～50 | 40～60 |
| 允许 pH 值 | 0～14 | 5～14 | 0～12 | 0～9 |
| 允许温度/℃ | 120 | 120 | 60～100 | 80～100 |

在离子交换过程中，当树脂的交换容量耗尽时，交换柱流出的离子浓度就会超过规定值。这一情况称为穿透。此时，必须将树脂再生。强酸性阳离子交换树脂用酸浓或中性钠盐溶液再生。而阴离子交换树脂用氢氧化钠或氢氧化铵再生。

离子交换法常用于硬水软化，高压锅炉用水、高纯水（无离子水）、原子能工作用水、注射水、医疗用水、海水淡化、水中放射性物质的去除、废水中贵重金属的回收等由于各种水处理要求水质不同，要根据使用目的要求选择不同体系的离子交换树脂。

用离子交换法处理涂装预处理的废水，目的在于除去废水中的铬酸离子，其工艺流程如图 11-4 所示，由过滤塔、活性炭吸附塔、离子交换器等组成。其过滤塔和活性炭吸附塔的作用是过滤并吸附废水中所含的悬浮物、油分等杂质及有机物，防止这些物质对交换剂的污染而造成离子交换剂能力降低。保证离子交换工作正常进行。

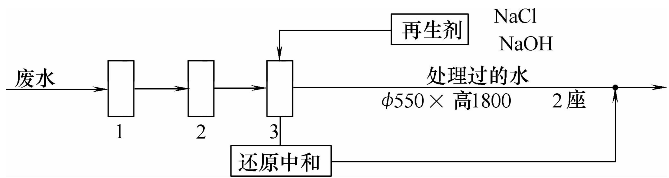



图 11-4　含铬酸废水的工艺流程

1—过滤塔　2—活性炭吸附塔　3—离子交换塔

离子交换器中充填强碱性阴离子交换剂，进行离子交换，除去废水中铬酸根离子。经处理后可直接排放或循环使用。当塔内的交换剂达到饱和后，用氢氧化钠和氯化钠进行再生处理。经再生而产生的浓的含铬酸废水用还原中和法另行处理后排放。处理前后的水质可以达到的性能见表 11-13。

**表 11-13　含铬酸废水处理前后的水质性能**

| 水质 | 项　目 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | pH | n-H($10^{-6}$) | $Cr^{6+}$($10^{-6}$) | COD($10^{-6}$) |
| 废水水质 | 6.5～8.0 | 5 | 15 | 2 |
| 处理过的水质 | 6.5～8.0 | 检验不出 | 检验不出 | 检验不出 |

注：处理水所采用的树脂为强碱性阴离子交换树脂。

### 11.2.10　什么是废水的膜分离法?

在溶液中凡是一种或几种成分不能透过，而其他成分都能透过的膜都叫半透膜。而膜分离法就是用一种特殊的半透膜将溶液隔开，使溶液中的某种溶质或溶剂渗透出来，达到分离溶质的目的。

### 11.2.11　常用膜分离方法如何分类?

常用膜分离方法分类见表 11-14。

**表 11-14　常用膜分离方法分类**

| 能量 | 名称 | 供料 | 用于分离的主要性质 | 实　例 |
|---|---|---|---|---|
| 热能 | 热扩散 | 液体或气体 | 热扩散速度差 | 同位素的分离 |
| | 分子蒸馏 | 液体 | 蒸发的速度差 | 维生素 A 的分离 |
| 化学能 | 渗析 | 液体 | 通过膜的扩散速度差 | 人造纤维工业的碱的回收 |
| | 净化扩散 | 气体 | 扩散速度差 | 同位素的分离 |
| 力学能 | 气体扩散 | 气体 | 通过膜的努森分子流和表面扩散速度差 | $U^{235}F_6$ 和 $U^{238}F_6$ 分离 |
| | 气体扩散 | 气体 | 膜上的溶解性与透过速度差 | 用钯膜精制氢气 |
| | 反渗透 | 液体 | 膜上的熔解性与透过速度差 | 海水淡化 |
| | 超滤 | 高分子或胶体液 | 膜透过速度 | 废水处理，蛋白质浓缩 |
| | 超离心分离 | 液体 | 压力扩散 | 靠分子量不同进行高分子的分离 |
| 电能 | 电泳 | 胶体溶液 | 胶体离子可动性差 | 蛋白质分离 |
| | 电渗析 | 液体 | 利用不同离子的膜透过性差 | 海水浓缩，碱水淡化 |

### 11.2.12　常用膜分离法原理、特点及适用范围是什么?

常用膜分离法原理、特点及适用范围见表 11-15 所示。

**表 11-15　常用膜分离法原理、特点及适用范围**

| 方法名称 | 原理 | 特点及应用范围 | 注意事项 |
| --- | --- | --- | --- |
| 超滤法 | 用有细小孔的高分子膜，加压过滤溶液，达到分离 | 1）压力 0.01 ~ 1MPa<br>2）分离物是胶体，悬浊物，蛋白质，碳水化合物等高分子（相对分子质量在 500 以上）物质<br>3）应用中电泳涂装中处理电泳污水，电泳漆槽液净化和电泳漆用水的循环再利用 | 1）应在适宜温度，pH 值的介质中使用<br>2）易引起堵塞的物质，应预先除去<br>3）严格清洗，杀菌，防止膜上霉菌繁殖 |
| 反渗透 | 是一种用半透膜进行分子过滤的方法 | 1）压力为 2MPa<br>2）分离物质比超滤小，能分离 $Na^+$，$K^+$，$Cl^-$ 等<br>3）过滤速度慢，为超滤的 1/10 ~ 1/1000<br>4）用于脱脂，磷化及冲洗水等老化液再生处理 | 1）在 pH5 ~ 9，温度（20 ~ 30）℃下应用为好<br>2）预先除去 SS、油分、微生物、铁、钙等<br>3）严格洗净，杀菌，以便长期使用 |
| 电渗析 | 直流电场作用下，利用阴、阳离子交换膜对溶液中阴阳离子选择透过性使溶质与水分离的物理化学过程 | 1）电渗析所需能量与受处理水的盐浓度成正比，不宜处理高浓度废水<br>2）由于具有高浓缩特点，因而作为浓缩手段比分离多<br>3）从含重金属离子的废水分离和浓缩重金属离子 | 1）为避免浓差极化，槽内应充分搅拌<br>2）膜的污染使效率严重降低应经常洗净和清扫<br>3）应在适宜 pH、温度下使用 |

而在实际中采用何种方法，随具体条件而定。下面对超滤、反渗透、电渗析三种方法分别叙述。

（1）超滤法　该方法是用有细小孔的高分子膜，加压过滤溶液，达到分离物质，也可理解为利用孔径差来分筛。膜是高分子电解质的复合体，常用膜材料醋酸纤维素和聚砜酰胺等，经配向处理为多方向性构造的膜，其膜是含有超微细小孔和透过性的膜。超滤膜的结构如图 11-5 所示。

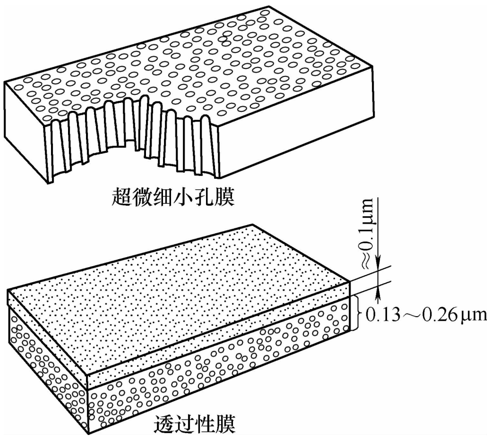


图 11-5　超滤膜的结构

（2）反渗透　在盛有稀溶液和浓溶液的槽中放置半透膜，水通过半透膜从稀溶液侧向浓溶液移动（渗透），如图 11-6 所示。与此相反当在浓溶液侧施加

压力达到渗透压以上时，水从浓溶液侧向稀溶液侧移动，仅仅水从浓溶液中分离，脱盐这种现象称为反渗透。反渗透膜是由表面极薄而致密表层和多孔质海槽结构组成。其原材料大部分是醋酸纤维素和芳香族的聚酰胺。膜的剖面图如图 11-7 所示，通常使用反渗透膜的形式有耐压板型、螺旋管型、管状型和中空纤维型等。

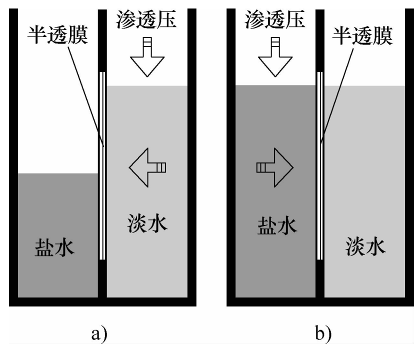



图 11-6　反渗透原理

a）渗透原理　b）反渗透原理

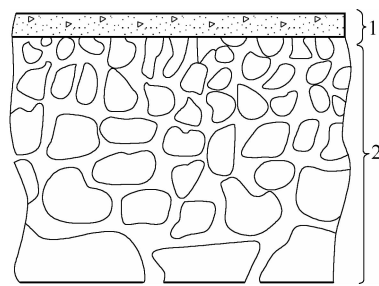



图 11-7　醋酸纤维膜的剖面图

1—表层（厚 0.25μm）　2—里层（厚 100μm）

工业上对反渗透膜的要求是：①单位面积的透水量大，对溶质脱除率高；②机械强度高；③化学稳定性和热稳定性好，耐腐蚀；④结构均匀寿命长；⑤制造容易成本低。

反渗透应用在脱脂、磷化及冲洗水等系统。表 11-16 所示为反渗透处理含铬废水的处理实例。

**表 11-16　反渗透处理含铬废水的处理实例**

| | pH | 电导率（μs/cm） | Cr（$10^{-6}$） | K（$10^{-6}$） | F（$10^{-6}$） | 全蒸发后残渣（$10^{-6}$） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 含铬废水 | 3.2 | 560 | 170 | 40.0 | 90.6 | 608.6 |
| 制造水 | 4.4 | 100 | 1.3 | 0.6 | 22.5 | 59.2 |
| 浓缩水 | 2.7 | 1620 | 570 | 1700 | 287.5 | 2011.9 |
| 除去率 | | | 99.2% | 98.5% | 75.2% | 90.3% |

（3）电渗析　电渗析是在直流电场的作用下，利用阴阳离子交换膜对溶液中阴、阳离子的选择性透过，而使溶液中的溶质与水分离的物理化学过程。电渗析器由一系列阴阳膜置放于两电极之间和隔板多组交替排列所组成，其工作原理如图 11-8 所示。离子减少的隔室称为淡室，其出水为淡水；而离子增多的隔室称为浓室，其出水为浓水；与电极板接触的隔室称为极室，其出水为极水。

当电渗析器在直流电场的作用下，溶液中阴、阳离子定向移动，当离子达到膜表面时，由于阳膜的固定交换基团带负电荷只允许阳离子通过，阴膜的固定交换基团带正电荷，只允许阴离子通过，所以淡室中阴阳离子迁移到相邻的浓室中去，达到淡化或浓缩的目的。

### 11.2.13　什么是废水的生物学处理？

在自然界中，存在着大量细菌等微生物。它们不但能将有机物分解氧化，并能将其转化成稳定的化合物，降低有害有机物的危害。在工业实际中，把废水无害化的过程中，就是利用微生物处理有机毒物和无机物等。而在涂装废水中，目前使用生物学处理废水实例较少。

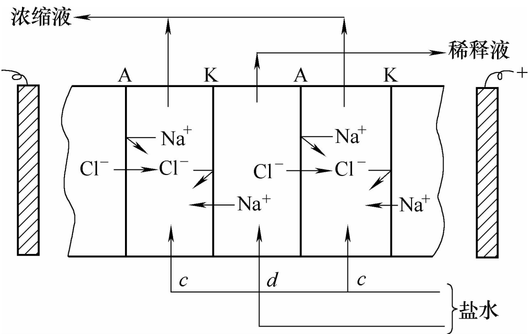


图 11-8　电渗析器工作原理
A—阴膜　K—阳膜

生物学处理是利用自然界中存在的细菌等微生物分解氧化有机物的能力，并采取一定的人工措施，创造有利于微生物的生长繁殖的环境，使微生物大量繁殖，以提高有机物氧化分解效率的一种废水处理方法。生物学处理大致可分为好氧性处理和厌氧性处理，前者向废水中输送大量空气，靠好氧性微生物进行有机物氧化分解的方法。后者是把废水与空气隔绝，在无氧的状态下，靠厌氧微生物进行有机物分解的方法。

几种生物处理法的原理和方法见表 11-17。

**表 11-17　几种生物处理法的原理和方法**

| 方法名称 | 原　　理 | 特　　点 |
|---|---|---|
| 活性污泥法 | 活性污泥微生物形成絮凝团与废水混合，曝气使废水中有机物分解形成生物性絮凝力沉淀与废水分离方法 | 管理不便，受水中溶解氧、pH 值、水温等影响，处理效率高 |
| 散水滤床法 | 将废水散在用碎石铺设的滤床上，进行有机物分解方法 | 有较强适应性对废水水质水量变化影响不大，管理方便 |
| 贮留池法 | 它是靠生育在池中的微生物作用，净化有机物 | 占地面积大，不经济，常为缩短时间与曝气法并用，不用于废水处理 |
| 甲烷发酵法 | 在缺氧状态下，厌气性微生物分解有机物。达到分离目的 | 适宜处理高污染高浓度废水处理，处理技术难 |

活性污泥法处理废水的基本流程和设施如图 11-9 所示。其主要设施就是曝气槽和最终沉淀池。其工艺流程为将需要处理废水，在最初沉淀池内进行粗沉淀，然后与回流活性污泥混合后同时进入曝气槽，进行曝气，使废水和活性污泥充分混合接触，同时给混合液以足够溶解氧，在充足氧状态下废水中的有机物被活性污泥中的微生物群体分解，然后进入最终沉淀池，在沉淀池中活性污泥与澄清水分离后，一部分活性污泥返回曝气池循环使用，而澄清水排放。

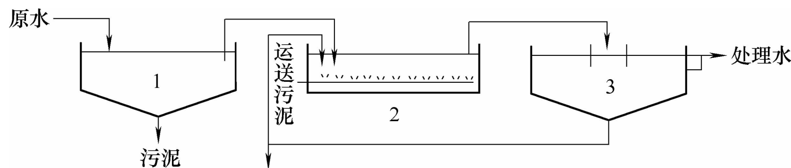



图 11-9　活性污泥法处理废水的基本流程和设施

1—最初沉淀池　2—曝气槽　3—最终沉淀槽

### 11.2.14　什么是废水的燃烧法处理?

从涂装生产线排出的废液成分复杂，其中含有树脂、溶剂、乳化剂等有机物是可燃性，而颜料、金属粉等是不燃性成分。这些复杂混合的废物燃烧之前不进行预处理是不行的。特别要除去不燃性成分，在废水中含有热分解能产生氯气等腐蚀性气体及含有铬、铅等重金属的场合，在燃烧时产生腐蚀性气体腐蚀炉子，而且还能造成二次污染。燃烧法基建费用和运转费用高，故燃烧法仅适用于工厂废水混合前相应的废水处理。

燃烧法一般具有下列特点：

1）适用于各种有机物的废液。

2）高 BOD 浓度废液可直接处理。

3）占用场地比较小，但从安全方面考虑要有必要空间间隙（空间场所）。

4）处理剩余物生成少量的灰。

5）燃烧能量（运转费用）和初投资费用比较高。

### 11.2.15　常用涂料涂装的废液有何性能?

在设计燃烧炉时，首先应对废液性能进行分析，再选择适宜燃烧炉和工艺。常用涂料涂装的废液的性能见表 11-18。

**表 11-18　常用涂料涂装的废液的性能**

| 废液名称 | 硫黄分（%） | 灰分（%） | 水分（%） | COD①（$10^{-6}$） | BOD（$10^{-6}$） | 氯 | pH | 发热量/(kJ/kg) | 每千克废液耗油量/kg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 酸处理工序废油 | 0.02 | 2.66 | 96.39 | 2.42 | — | 微量 | — | 43.47 | 0.14 |
| 涂料溶剂废液 | 0 | 10.91 | 39.74 | 386 | — | 0 | — | 16176 | 0 |
| 对苯二甲酸甘油树脂 | 0 | 0.27 | 62.90 | 105 | 243900 | 0 | — | 5116.32 | — |
| 尿素树脂 | — | 微量 | 92.50 | 107000 | 140000 | — | 4.8 | 2829.86 | 0.07 |
| 三聚氰胺树脂 | — | 微量 | 97 | 105000 | 125000 | — | — | 62.7 | 0.15 |
| 醇酸树脂 | — | 微量 | — | 125000 | 95500 | — | 2.8 | 2278.1 | — |
| 丙烯酸树脂 | — | 微量 | 99 | 1440 | — | — | — | — | 0.20 |
| 酚醛树脂 | — | 微量 | 94 | 135000 | — | — | 6.5 | — | 0.15 |
| 废涂料渣液 | 0 | 3.39 | 86.8 | 216 | 0.4 | 0 | 7.0 | 3043 | 0.06 |

①　重铬酸钾法测定。

### 11.2.16　什么是含酸废水的回收处理？

含酸废水主要来自酸洗工序，其中含酸及其酸与铁锈形成的盐，如氯化铁、氯化亚铁或硫酸铁与硫酸亚铁等。pH 值低，直接排放会腐蚀地下管道，污染水源，因此应进行处理。对于硫酸或盐酸含量在 3% ~4% （质量分数）以上且量较大的废水，可以采用回收综合利用。

回收利用含酸废水的回收利用就是把含酸废水加以浓缩，将酸回收或将含酸废水与金属反应生成盐类进行回收。常见的回收利用方法有蒸发法、溶剂萃取法和硫酸亚铁结晶法等。

（1）蒸发法　根据酸蒸汽的平衡温度的不同，使混合酸液中蒸汽压力高的酸被蒸发冷凝回收。一般宜用于比水蒸气压力高的酸类如硝酸、盐酸、氢氟酸等的含酸废水的回收。

（2）溶剂萃取法　利用不同的萃取剂分别将含酸废水中的金属离子或酸萃取，再经反萃将酸回收。一般适用于硝酸、氢氟酸及盐酸的回收。

（3）硫酸亚铁结晶法　包括自然结晶法、浸没燃烧高温结晶法和真空浓缩冷冻结晶法等。自然结晶法是将含酸废水中的酸，用铁屑全部反应生成硫酸亚铁，再结晶回收。浸没燃烧高温结晶法及真空浓缩冷冻结晶法是利用硫酸亚铁的溶解特性。将含酸废水中的硫酸亚铁，在酸液中结晶与酸分离，然后分别进行回收。

### 11.2.17　什么是含酸废水的相互中和处理？

将预处理过程中产生的废酸水和废碱水放入中和槽进行中和，使水的 pH 值达 6 ~9 的范围。中和的过程如图 11-10 所示。

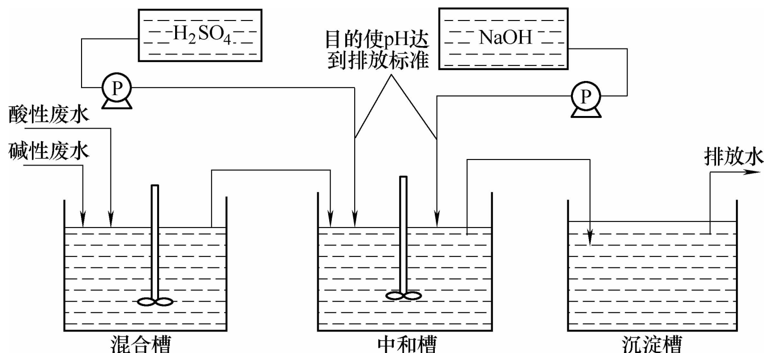



图 11-10　酸碱废水相互中和的过程

酸、碱废水相互中和处理系统由混合槽、中和槽、沉淀槽及酸碱槽组成。进行处理时，首先将废酸液和废碱液导入混合槽，通过搅拌、混合，然后注入中和槽，在中和槽内，根据测定的 pH 值大小，适当地注入废酸液或废碱液。

### 11.2.18　什么是含酸废水的投药中和处理？

该方法是向含酸废水中投加适量的碱性物质，如碱、石灰、石灰石等，使含酸废水得到中和，投药中和又分为干投法和湿投法两种。

干投法如图 11-11 所示。根据废水的含酸量，将石灰直接投入废水中，投药量为理论值的 1.4 ~ 1.5 倍。采用电磁振动给料机，保持均匀地投加石灰，废水经过隔板混合槽时，反应时间为 1min 左右，流入加速澄清池，生成的沉淀澄清后与水分离。干投法设备简单，但反应过程慢，而且反应不够完全。

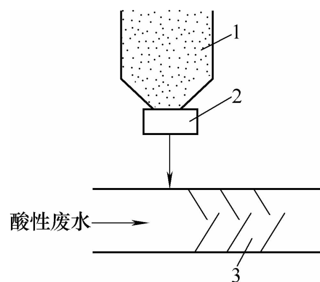



图 11-11　干投法
1—料斗　2—电动给料机
3—隔板混合槽

湿投法如图 11-12 所示。将石灰加水消化成 40% ~ 50%（质量分数）的石灰乳后，再加水搅拌均匀，配制成 5% ~ 10%（质量分数）的石灰乳，用泵打到投配槽，经投加器投入渠道，与废水一起流入混合反应槽。中和后澄清，使水与沉淀物得到分离。计算中和用碱时。注意不要忽略废水中重金属离子生成氢氧化物沉淀所消耗的部分石灰乳。消化槽可按石灰用量大小，选择国内定型产品。乳液槽禁用空气搅拌，应采用电动机械搅拌，防止产生碳酸钙，造成损失。

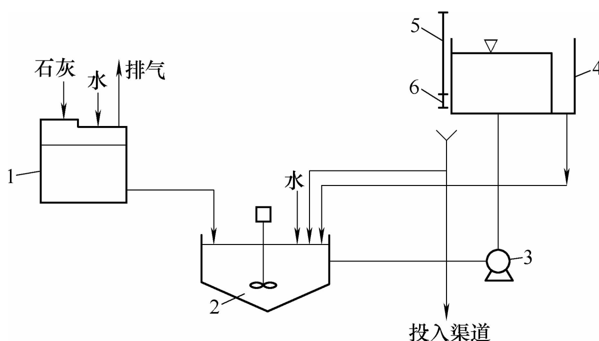



图 11-12　湿投法
1—石灰消化槽　2—乳液槽　3—泵　4—投配槽　5—提板闸　6—投加器

湿投法配置设备较多，但反应过程迅速而且完全。投药量仅是理论值的 1.05 ~ 1.1 倍，比干投法效果好，且劳动条件好，国内广泛采用湿投法。

### 11.2.19　什么是含酸废水的中和与混凝混合处理？

中和与混凝结合法中和主要是调节废水的 pH 值，当废水中胶状物或微细颗粒悬浮物很多时，可以加入某种凝聚剂，消除胶体带的电荷，或者产生吸附架桥作用，使之成为絮状，形成较大的颗粒而沉淀除去，此过程称为混凝。混凝过程包括药剂加入废水中产生的混合、凝聚、絮凝等多种作用。所加入的药剂统称为混凝剂，其中包括：凝聚剂、絮凝剂、助凝剂等。

为了促进凝聚效果，有时还加入助凝剂。如絮体结构剂用以改善絮体结构，加速絮凝和沉淀过程，有膨润土、二氧化硅、活性炭等。氧化剂用以破坏对凝聚有干扰的有机物。调整剂用以调整 pH 值，即中和剂。下面介绍盐酸和硫酸废水联合处理系统。

盐酸废水联合处理法处理装置系统由中和槽、水位调整器、碱溶液槽、混凝剂槽、

沉淀槽等组成。处理过程如图 11-13 所示。在进行盐酸废水处理时，将更新溶液槽中的高浓度酸液逐渐加入低浓度的废酸溶液槽中进行稀释。在用石灰石作为药剂的第一次中和槽内，将 pH 值调整至 4 左右。在中和槽内，凭借 pH 控制器的指示，供给碱溶液，将 pH 值调整至 6 ~ 9 范围内，中和过程中产生的含有悬浮物的废水，经水位调整槽送往沉淀槽，并在输送过程中加入高分子混凝剂，强化凝集作用。由于自然沉淀作用，凝集物和液体在沉淀槽中分离，分离终了的澄清液在沉淀槽上溢流排放。沉淀的淤渣通过增稠器和真空过滤机浓缩脱水后，形成可搬运的固态物。

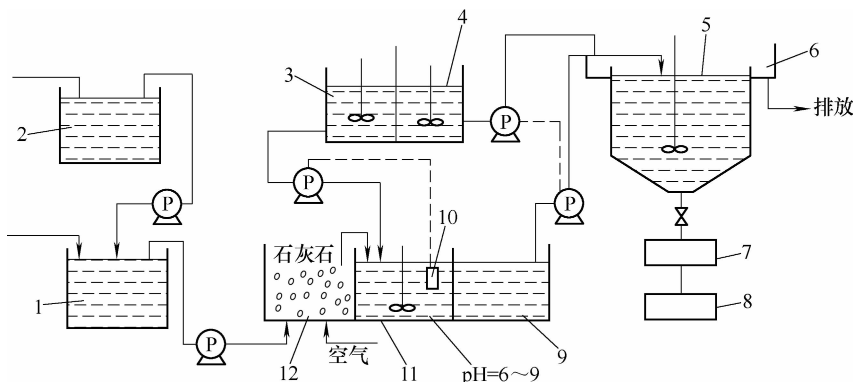



图 11-13　盐酸的联合处理过程

1—低浓度废酸槽　2—高浓度更新酸液槽　3—碱液　4—混凝剂槽　5—沉淀槽　6—溢流槽
7—增稠器　8—真空过滤器　9—水位调整器　10—pH 控制器　11—中和槽
12—第一次中和槽（pH =4）

### 11. 2. 20　碱性脱脂废液如何处理？

碱性脱脂废液含氢氧化钠、硅酸钠、碳酸钠、三聚磷酸钠等碱性物质，以及表面活性剂和少量有机溶剂，另外还含有机械油、防锈油脂等悬浮物。因此，主要处理项目是 pH 值、悬浮物、BOD、COD、含油量等。

废液浓度较低时，采用 $H_2SO_4$、HCl 进行中和即可，或者用酸洗废液进行中和，使 pH 值为 6 ~ 9。

存在于液面的油污直接溢流分离；但在废液中仍有大量的油污呈白色乳化状态分散，必须采取破乳—油水分离—水质净化的方法。

（1）破乳　通常采用盐析方法。添加 $CaCl_2$、$MgCl_2$、NaCl 等药剂，使之破乳析出。为了使油和其他悬浮物尽快分离，并使之絮凝，还需投入混凝剂或助凝剂，像 $Al_2(SO_4)_3$ 聚合氯化铝、硫酸亚铁、三氯化铁、活性硅酸、聚丙烯砒胺等。

（2）油水分离　经破乳、凝集处理后，油和杂质形成絮凝体。通过物理方法使油水分层，刮出油泥，达到油水分离效果。分离方法主要有：自然上浮、加压上浮、电解上浮、凝聚沉淀和粗粒化等。

（3）水质净化　经破乳、油水分离后，油、有机物、COD 等都大大降低，但仍有微量的油和一定量的稳定性非离子表面活性剂存在，可采用活性炭等吸附性过滤材质进

行吸附、过滤除去。

经这样处理的水质，可达到排放要求。对于含油量小于 100mg/L 的废液，在经砂子过滤以后，不用再经活性炭过滤就可达到排放要求。

### 11.2.21 磷化处理废液如何处理?

磷化废液 pH 值为 2.5 ~ 5，主要含 $PO_4^{3-}$、$Zn^{2+}$、$Fe^{2+}$、$Ca^{2+}$、$Mn^{2+}$ 等金属离子，及柠檬酸、氟化物等络合剂，及 $NO_2^-$、$ClO_3^-$ 等氧化剂。

它的主要处理项目是 pH 值、悬浮物、$PO_4^{3-}$ 及金属离子。采用石灰乳中和，即可大部分除掉。在 pH 为 6 ~ 9 的条件下，$PO_4^{3-}$、$F^-$ 和 $Zn^{2+}$、$Fe^{2+}$、$Ca^{2+}$、$Mn^{2+}$ 都可形成难容磷酸盐和 $CaF_2$ 的沉淀，若同时并用凝聚剂，有助于淤浆凝集脱水，提高过滤效果。

### 11.2.22 钝化封闭液如何处理?

钝化封闭废液主要含六价铬，处理项目为 pH 值、$Cr^{6+}$、悬浮物。

首先，加硫酸酸化，添加亚硫酸钠使 $Cr^{6+}$ 还原成 $Cr^{3+}$，再经碱中和、凝聚沉淀、过滤除渣。

各种冲洗水的废水都可按照以上相应的化学处理废液情况进行处理。—般来说，水洗废水，浓度都较低，通常用简单处理即可。但严格来说，各废水都应控三级处理方式进行。

（1）一级处理　用机械方法或简单化学方法进行预处理，使悬浮物沉淀，并中和酸碱度。

（2）二级处理　采用生物处理或添加凝集剂，使可分解、可氧化的有机物经生化处理而消除；或使油污，悬浮物经破乳、凝集而分离。对于表面处理废液，一般经二级处理，基本上都可达到排放标准。

（3）三级处理　采用活性炭吸附、离子交换、电渗析、反渗析和化学氧化等对难分解、难处理的有机物、无机物进行深度处理，经三级处理，可使废水、废液都能达到排放标准。

### 11.2.23 什么是电泳涂装废水的生物法处理?

生物处理法是利用微生物的生物化学作用使废水中有机物氧化分解的一种处理方法。

根据微生物对氧气的好厌，生物处理法可分为好气性及厌气性两大类。好气性生物法处理废水时，必须保证废水中有足够的氧气，因微生物在游离氧充足的条件下，它氧化分解有机物的能力大，从而纯化废水的效率也高。属好气生物处理的主要有生物滤池、生物转盘和活性污泥法等。厌气生物法则相反，在处理废水时要求水中的溶解氧尽量的少。在缺氧条件下厌氧微生物才活跃，它能通过发酵作用将有机物逐级分解成 $CO_2$ 和甲烷等。厌氧法主要用于处理污泥。近年来也用于高浓度有机废水处理。

为了有效地进行生物处理，必须创造微生物能够生存繁殖的条件。因此，除废水中要有适当的含氧量和作为微生物食料的有机物外，还必须控制水的 pH 值（一般为 6 ~ 9）和水温（20 ~ 40℃为适宜），并再提供一些微生物生存所需的无机元素，特别是氮和磷。

### 11.2.24　什么是生物滤池？

在一个装有滤料（常用砾石、碎石、碎瓷环等）的过滤池中，已经过沉淀处理的废水通过布水器，均匀分布至滤池表面，再从表面覆盖着生物粘膜的滤料中渗滤通过进入池底的集水沟，而排出池外。生物粘膜层的厚度约 0.1～2.0mm，它由好气分层和厌气分层组成（当生物膜较厚时，在靠近滤料处由于氧气不足生成一薄层厌气层），如图 11-14 所示。在好气分层中发生生物好气过程，即生物粘膜上的好气微生物在氧的参与下，以废水中的有机物为食料，并通过自身的生命活动，将部分有机物氧化分解为无机物（$CO_2$ 及 $H_2O$ 等）。氧化过程中，放出的能量供给微生物生长活动的需要，另一部分有机物则用来合成新的粘膜物质，有机物的好气分解图如图 11-15 所示。

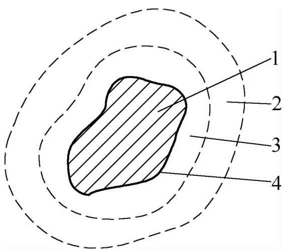


图 11-14　生物滤池中好气分层与厌气分层
1—滤料　2—好气层　3—厌气层　4—粘膜层

厌气分层中通过厌气微生物的活动，将部分有机物分解为有机酸、甲烷、硫化氢等。这些产物有的不稳定，有的有臭味，将影响出水水质。当生物膜越厚，而废水中有机物浓度较高时，供给的氧量不足时，则厌气层越厚，厌气产物也越多，净化效果就会降低。

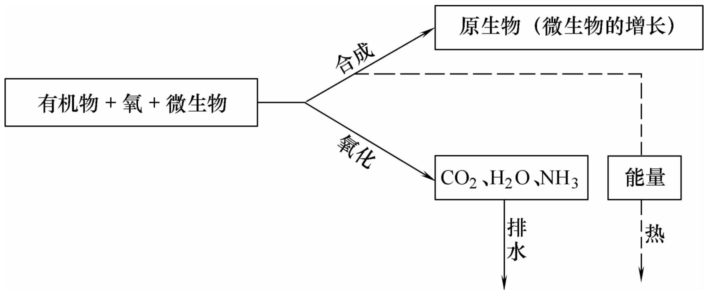


图 11-15　有机物的好气分解图

生物滤池中，由于微生物的死亡、老化及其他一些因素，生物膜将从滤料表面上剥落下来。因此在整个工作过程中，生物膜并非不变的，而是在不断更新。也由于这一点，在生物滤池后要再经过沉淀池来保证出水水质。生物滤池净化水的流程如图 11-16 所示。

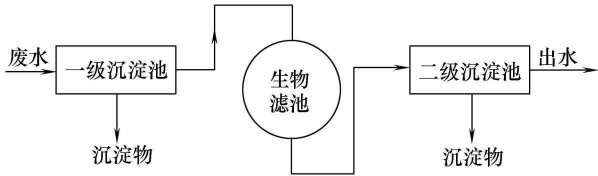


图 11-16　生物滤池净化水的流程

### 11.2.25　什么是生物转盘？

生物转盘又称浸没式生物滤池，其工作原理与生物滤池相同，图 11-17 为其构造示

意图，它是由一排塑料圆盘平行架设在一个中心旋转轴上而组成的转盘，盘直径约 2 ~ 3m，转盘装于充满废水的水池中，盘上粘附一层生物膜。圆盘的一部分浸没在水中，盘上的生物膜从废水中吸附有机物而获得营养进行生物分解，随着盘的转动，转出水面的生物膜，则从大气中吸收所需要的氧气，如此反复循环，可使废水中的有机物在好气微生物作用下得到氧化分解。生物转盘上的生物膜能周期性地交替运动于空气和废水之间，微生物能直接从大气中吸收氧，使生化过程更有利地进行。转盘上生物膜的表面积大，也不会因滤料堵塞而造成通风不良产生厌氧层生物膜，因而处理容量高，可用于处理高浓度的有机废水。目前常用于水量较少的废水处理，因为当处理水量很大时，需要很多转盘，使投资及运转费用相应地增加。

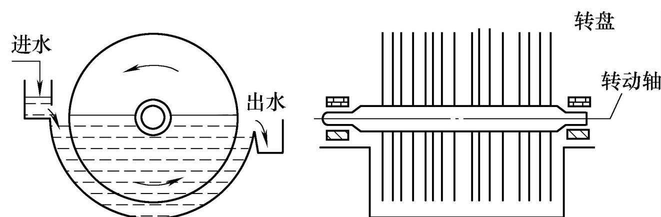



图 11-17　生物转盘

## 11. 2. 26　什么是电泳涂漆的超滤系统？

在电泳涂漆中安置超滤系统可起两方面作用：一是回收带走的涂料，消除电泳漆对水的污染；二是提取电泳槽中的低相对分子质量的污垢杂质，如不需要的盐类等，可使槽内漆液恢复特性，从而保证电泳涂层的质量。

超滤系统的主要装置是超滤器，超滤器可分为板式、螺旋式、管式和空心纤维管等形式。其中空心纤维超滤器是近年来出现的一种新型超滤器，管式超滤器在我国应用较为广泛。

1）空心纤维超滤器是将半透膜制成空心纤维，然后将空心纤维组成纤维束，也可组成螺旋卷的形式。它是将数千根空心纤维组成纤维束，并用网络包裹置于保护圆筒内，空心纤维的两端用环氧树脂粘合成环氧管头，并用 O 形密封圈密封，工作时，漆液从超滤器的一端进入纤维的空心部分，透过液从纤维壁处透过并积聚在保护圆筒内，再从圆筒侧壁的排出口流出，浓缩液从另一端排出。超滤器使用一段时间后，透过率明显下降时，可采用反冲洗法或循环法予以再生。为了防止霉菌，可在反冲洗水中加入 $5\times10^{-6}$的次氯酸钠。

2）管式超滤器是由支承管和半透膜所组成。根据超滤元件的连接方式，管式超滤器可分为串联、并联或串并联相结合的组合方式。

3）串联方式流量小，较少用。并联方式也称为管束超滤器，是将数十根超滤元件并联在一起，结构紧凑，占地面积小，透过水量较大，但要求水泵流量较大。

根据超滤元件成膜的方式，管式超滤器又可分为内刮膜和外刮膜两种。内刮膜是将半透膜刮在支承管的内壁，使用时漆液在管内流动，透过液从管外流出，而不需要套管。外刮膜是将半渗膜刮在支承管的外壁，使用时将元件置于套管内，漆液从套管中的

环形间歇流过，透过液从元件管内流出。用外刮膜元件组成的超滤器具有使用性能好、制造与维修方便的特点。

目前国内采用的内刮膜超滤器管的内径 ϕ12mm、ϕ18mm；外刮膜的外径为 ϕ22mm，管的长度为 1m 左右。

### 11.2.27　什么是电泳涂漆废液的电解析处理法?

电渗析法电渗析法是上世纪 70 年代来在离子交换技术基础上发展起来的，目前用它来处理工业废水的工作也已取得不少进展，从而引起了人们的重视。电渗析原理如图 11-18 所示。

水中以离子状态存在的杂质，在电场作用下，正、负离子分别向阴、阳两极移动，在两极间有若干对离子交换膜，由于阳膜只允许通过正离子，阴膜只允许通过负离子，因此正离子在移动过程中能透过阳膜而不能通过阴膜；负离子则相反。这样移动的结果就造成淡水区、浓水区与极水区，分别汇总引出即可。

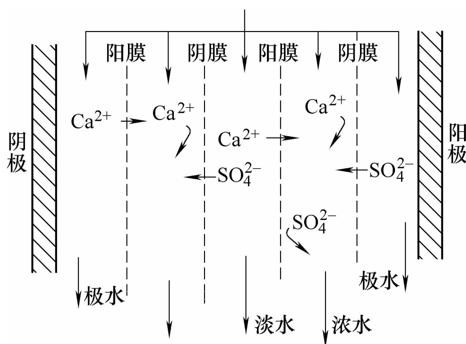


图 11-18　电渗析原理

具有选择透过性的离子交换膜是电渗析器的关键部件，其性能好坏直接影响到净水效果及能量消耗。离子交换膜是由离子交换树脂制成的薄膜，可看成是一种聚电解质。树脂上的可交换活性基团在水中电离成电荷符号不同的两部分——电离的活性基团和可交换离子。可交换离子进入溶液中，电离的活性基团仍在膜上。对阳膜来说，带正电荷的可交换离子进入溶液，则使阳膜带负电，它对正离子有静电吸引力，因而在外加直流电场作用下，溶液中的正离子将受到吸引而透过，负离子则受到排斥而不能透过；对阴膜则正好相反，这种性质称为选择透过性。电渗析法就是利用了这种特性。

电渗析法的主要特点是，它省去了普通离子交换法所需的再生过程，因此设备简单，但要消耗电能，而且由于废水水质的复杂性，因此用来处理工业废水时所要考虑和解决的问题比用它来处理工业用水则更多一些。

### 11.2.28　喷涂室废水有什么特点?

喷涂室废水来自湿式喷涂室，如水旋式喷涂室、喷淋式喷涂室、水帘式喷涂室和无泵喷涂室等。在湿式喷涂室中喷涂时，利用水吸收空气中的漆雾，水旋式喷涂室可吸收漆雾 99% 以上。这种废水具有以下特点：

1）水中主要含不溶于水的涂料及少量溶于水的溶剂、颜料及游离的有机酸等，如醇类、锌铬类等。涂料不溶于水，又未干结，易于聚集，使与水分离而除去。

2）喷涂室中的水将漆渣分离后可循环使用，因此这种废水的量少，处理工作量也少。

3）涂料中水溶性物质少，因此废水中除涂料外，其他杂质很少，除去涂料后的废水是否需要处理，可根据具体情况决定。

### 11.2.29　喷涂室废水如何处理?

产量大的工厂喷涂室的工作大、漆雾多，应采用自动除漆渣的办法。目前国内应用最广泛的是英国海登德莱赛斯（HADEN DRYSYS）公司设计的自动除漆渣装置（HYDROPAC），如图 11-19 所示。

由图 11-19 可见，喷涂室的含漆的污水自然流入地下污水池内，然后由泥浆泵打入漆渣处理装置。污水是自下部压入，到达一定高度则保持静止，因在污水池内不断加入漆雾凝聚剂，使污水的 pH 值保持在 11 ~ 12，漆泥则会自然凝聚成块状。当漆泥达到一定厚度时，将出口阀门关闭到一定位置，漆泥自动上浮，越过溢流堰而流入收集袋中，由小车运走。水返回喷涂室底槽，循环使用。使用中损失的水，由浮球阀控制液位，可自动补充。

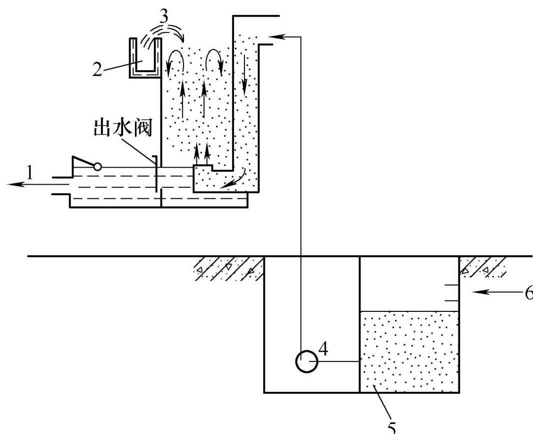



图 11-19　自动除漆装置（HYDROPAC）
1—泵回喷涂室　2—收集器　3—漆泥　4—泵
5—污水池　6—来自喷涂室的污水

漆泥处理装置的水量与喷涂室的大小有关，对于宽 5m、高 5m 的喷涂室，长度方向上每米需水 4L/s。

## 11.3　涂装废气处理

### 11.3.1　涂装废气的来源有哪些?

工业涂装废气对大气造成污染的物质主要来自以下三个方面：

1）废气中含有二甲苯、甲基异丁基铜、异佛尔酮等有机溶剂，可产生光化学烟雾。

2）涂膜在烘烤中产生热分解产物，挥发成分和新生成的反应物（胺类、醛类、酯类等）具有恶臭气味。

3）喷涂时产生涂料喷雾飞逸。

涂装废气主要发生源主要由喷涂室、流平室和烘平室组成，如图 11-20 所示。

### 11.3.2　涂装废气有什么特点?

喷涂室、流平室和烘干室排出废气的特点见表 11-19。

由喷涂室、流平室和烘干室排出的废气成分和浓度，随使用涂料种类和施工工艺等不同而有差异。下面仅以热固性丙烯酸为例，其各工序喷涂室、烘干室、挥发室中废气成分和浓度见表 11-20。

涂装废气中，臭气为污染邻近地区的问题，一般嗅觉能觉测出来的极限浓度（临界值）是极低的。涂装排气中恶臭物质即使为 $10^{-9}$ 数量级以下存在时，这些超稀浓度的臭气物质在技术上是不可能测量出来的，还是以嗅觉为基础。与涂装有关的恶臭物质临界值和主要发生源见表 11-21。

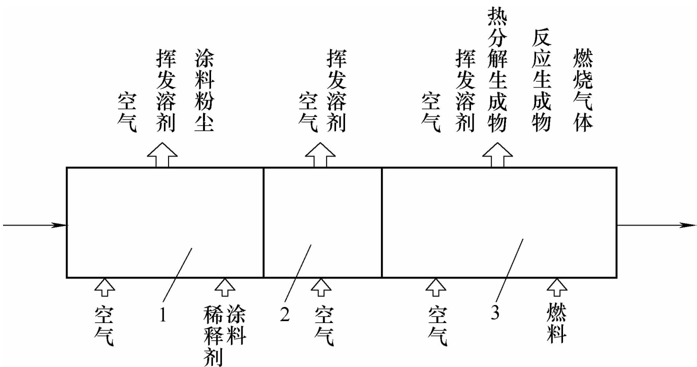



图 11-20　涂装废气主要发生源

1—喷涂室　2—流平室　3—烘干室

**表 11-19　喷涂室、流平室和烘干室排出废气的特点**

| 工序(排气) | 特　　点 |
|---|---|
| 喷涂室 | 1）为符合劳动安全卫生标准，喷漆室换气速度为 0.25～1.0m/s，排风量大，排气中溶剂蒸气的浓度极低，约为（20～200）×（$10^{-6}$）<br>2）含有过喷漆雾，其粒径约为 20～200μm，没有特强风是吹不到远处分散，引起近邻污染 |
| 流平室 | 涂膜在流平阶段，挥发出有机溶剂的蒸气为主 |
| 烘干室 | 1）含前两道工序未挥发的残留有机溶剂<br>2）含有固化过程中的热分解产物和反应生成物<br>3）油、气体作热源时，排气中还含有燃料产生气体（$SO_2$ 等） |

**表 11-20　各工序中溶剂成分和浓度**

| 工　　序 | 废气中溶剂的成分及浓度($\times10^{-6}$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 二甲苯 | 其他芳香族 | 乙醇 | 酯 | 醚 | 合计 |
| 喷涂室(水帘式) | 61 | 6 | 35 | 9 | 6 | 117 |
| 烘干室(液化气直热式) | 4 | 11 | 48 | 0 | 1 | 64 |
| 流平室(强制换气) | 6 | 4 | 67 | 0 | 1 | 78 |

**表 11-21　与涂装有关的恶臭物质临界值和主要发生源**

| 臭气物质的名称 | 临界值（$\times10^{-6}$） | 主要发生源 |
|---|---|---|
| 甲苯 | 0.48 | 喷涂室 |
| 二甲苯 | 0.17 | 喷涂室 |
| 甲乙酮 | 10.0 | 喷涂室、挥发室、烘干室 |
| 甲醛 | 1.0 | 烘干室 |
| 丙烯醛 | 0.21 | 烘干室 |
| 酪酸 | 0.00006 | 电泳槽，水洗槽 |

### 11.3.3　涂装废气的处理方法有哪些？

从涂装的喷涂室、流平室和烘干室排出的废气，对人体和环境存在危害，需要进行处理。处理废气方法有多种，应根据污染源种类、规模的不同，选择技术上可行和经济效果最佳的废气处理方法。具有代表性的有直接燃烧法、催化燃烧法、活性炭吸附法和吸收法。这些方法各有特点，见表 11-22。

**表 11-22　各种废气处理方法及其特点**

| 方法 | 原理 | 优　点 | 缺　点 |
|---|---|---|---|
| 直接燃烧法 | 废气引入燃烧室与火焰直接接触，使有害物燃烧生成 $CO_2$ 和 $H_2O$，使废气净化 | 1）燃烧效率高，管理容易<br>2）仅烧嘴需经常维护，维护简单<br>3）装置占地面积小<br>4）不稳定因素少，可靠性高 | 1）处理温度高，需燃料费高<br>2）燃烧装置，燃烧室，热回收装置等设备造价高<br>3）处理像喷涂室浓度低、风量大的废气不经济 |
| 催化燃烧法 | 废气在催化剂作用下，使有机物废气在引燃点温度以下燃烧生成 $CO_2$ 和 $H_2O$，而被净化 | 1）与直接燃烧法相比，能在低温下氧化分解，燃料费可省 1/2<br>2）装置占地面积小<br>3）$NO_x$ 生成少 | 1）催化剂价格高，必须考虑催化剂中毒和催化剂寿命<br>2）必须进行前处理除去尘埃，漆雾等<br>3）催化剂和设备价格高 |
| 活性炭吸附法 | 废气的分子扩散到固体吸附剂表面，有害成分被吸附面达到净化 | 1）可处理含有低浓度的碳氢化合物和低温废气<br>2）溶剂可回收，进行有效利用<br>3）处理程度可以控制<br>4）效率高，运转费用低 | 1）活性炭的再生和补充需要花费的费用多<br>2）处理烘干废气时需先除尘冷却<br>3）在处理喷漆室废气时，要预先除漆雾 |
| 吸收法 | 液体作为吸收剂，使废气中有害气体被吸收剂所吸收从而达到净化 | 仅以水作为吸收剂，处理亲水性溶剂场合有效，并具有<br>1）设备费用低，运转费用少<br>2）无爆炸、火灾等危险，安全性高<br>3）适宜处理喷涂室和挥发室排出废气 | 1）需要对产生废水进行二次处理<br>2）对涂料品种有限制 |

### 11.3.4　什么是废气的直接燃烧法？

直接燃烧法是将废气引入燃烧室，直接与火焰接触，把废气中燃烧成分燃烧分解成无毒无臭的二氧化碳和水蒸气的一种方法，该方法不适宜处理含有硫黄和卤素过多的废气的处理。同时为了防止废气中的碳氢化合物，由于不完全燃烧而生成一氧化碳，废气在燃烧室内燃烧时，除供给充足氧气和控制温度在 650 ~ 800℃ 以外，还应保持停留时间为 0.5 ~ 1.0s。

直接燃烧系统由烧嘴、燃烧室和换热器等组成，如图 11-21 所示。该燃烧装置随废气中所含氧气不同而有差异。当废气中含有能满足燃烧所需要的氧气时，不需要补充氧气的装置，反之则需要增设空气补给装置。为了使燃烧系统达到好的效果，要求烧嘴能形成稳定完全燃烧火焰，废气和火焰充分接触，其燃烧面积要大，燃料的调节范围要广。

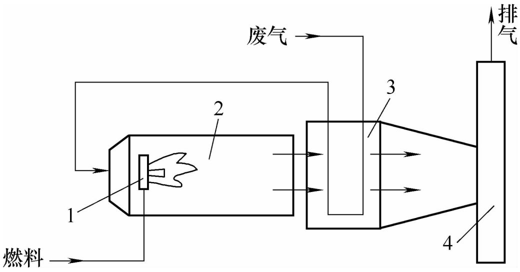



图 11-21　直接燃烧系统

1—烧嘴　2—燃烧室　3—换热器　4—排气管

### 11.3.5　使用直接燃烧法时有哪些注意事项?

1）涂装作业中所排出废气是含有多种有机溶剂的混合气体，在废气浓度接近爆炸下限的高浓度场合，从安全考虑，需要用空气稀释到混合溶剂爆炸下限浓度的 1/5 ~ 1/4，才能进行燃烧。

2）从喷涂室、流平室和烘干室排出的废气，因换气量大，其中所含有机溶剂浓度极低，远远低于废气爆炸下限浓度或允许下限浓度，为提高燃烧效率，节约燃料，通常需要将废气浓缩或补充高浓度废气。但其混合气体浓度应低于允许下限浓度。

3）碳氢化合物等废气在较高温度下才能完全燃烧，同时也产生光化学烟雾物质 $NO_x$，而 $NO_x$ 的产生与燃烧废气的品种、燃烧温度、装置机构和燃烧时所需空气量等有关，而其中最重要是燃烧温度。因此为避免产生光化学烟雾物质，直接燃烧中控制温度在 800℃以下。电泳涂装烘干室排气脱臭处理实例见表 11-23 所示。

表 11-23　电泳涂装烘干室排气脱臭处理实例

| 燃烧处理温度/℃ | 臭　气 | | 丙烯醛浓度($10^{-6}$) | |
|---|---|---|---|---|
| | 入口处 | 出口处 | 入口处 | 出口处 |
| 450 | 刺激臭 | 无 | 1.22 | 0.066 |
| 550 | — | 无 | 1.01 | 0.000 |
| 760 | 刺激臭 | 无 | 1.41 | 0.000 |

4）余热的综合利用：采用直接燃烧法处理废气，由燃烧炉处理后的燃烧气体温区为 500 ~ 600℃。除用于排出废气的预热外，还可用于对烘干室和锻炉等的热源进行有效的综合利用。

### 11.3.6　什么是废气的催化燃烧法?

催化燃烧法是在催化剂作用下，使有机物废气能在着火点温度以下，进行激烈氧化燃烧。它比直接燃烧法减少燃烧费用，直接燃烧法温度必须在 650 ~ 800℃，而使用催化剂后，其氧化燃烧可在 250 ~ 500℃下进行，其开始反应温度随有机物不同而异。如苯、甲苯等在 250 ~ 300℃下反应就能进行，而醋酸乙酯、环已酮等必须在 400 ~ 500℃温度下氧化反应才能进行。

催化剂表面积大而活泼，可将废气中的氧大量地吸在自己表面上，这样催化剂表面

上的氧浓度大为增加，从而大大加速了氧与有机物蒸气分子在催化剂表面上的反应速度并降低反应温度。反应产物一经生成就离开催化剂表面，空出来的表面又立刻吸附氧，如此反复达到加速燃烧反应的目的。

由上可知，催化剂把有机废气吸附到表面并使其活化，在催化剂表面有机废气的氧化反应比直接燃烧法的场合所需能量低，而且反应更迅速进行。在实际中，希望在较低温度下处理较多的废气，因此要求催化剂的活性高，一般使用铂、钯等白金系的贵重金属作为催化剂。

催化燃烧系统由催化元件、催化燃烧室、换热器及安全控制装置等部分组成。

其系统主要部件即催化元件，外面是不锈钢制成的框架，里面填充有表面镀有催化剂的载体。载体具有各种形状，有网状、球体、柱体及蜂窝状等，其载体材料为镍、铬等耐热合金及陶瓷等。要求催化剂元件具有机械强度高，气阻小，传热性能好等特点。

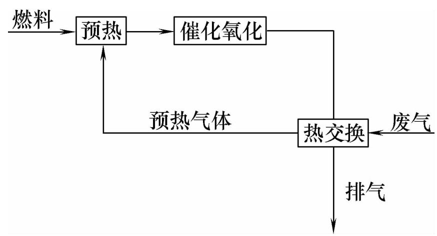



图 11-22　催化氧化流程

催化氧化流程和催化燃烧装置系统分别如图 11-22 和图 11-23 所示。燃烧装置由导管把含有可燃性物质的废气引入预热室，把废气预热到反应起始温度，经预热有机废气通过催化层使之完全燃烧，氧化燃烧生成无毒无臭的热气体，可进入换热器和烘干室等作为余热综合利用回收。

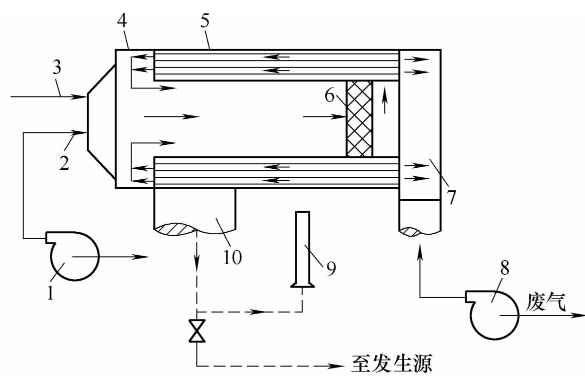



图 11-23　催化燃烧系统

1—助燃通风机　2—预热烧嘴　3—燃料供给管　4—壳体　5—换热器　6—催化元件　7—废气分配管　8—废气通风机　9—烟囱　10—净化气排出量

### 11.3.7　使用催化燃烧法时有哪些注意事项？

在使用催化燃烧法时，除应注意直接燃烧法中的浓度、成分等问题外，还应注意催化剂活性的衰减问题。催化燃烧法在处理废气的可燃性物质中，在较低温度下处理是优点，但最大难点是必须注意催化剂的中毒。对于催化剂的中毒，在催化氧化法的场合，从广义来讲，以下的物质均能阻碍催化剂的活性作用。

催化剂中毒：在水银、铅、锡等的金属蒸气和磷、磷化物、砷等存在，随着使用时间的增加，这些物质覆盖在催化剂表而，催化剂将失掉活性。这类中毒情况催化剂需经再生处理。

活性衰退：卤素（氟、氯、溴和碘）和多量的水蒸气存在时，催化剂活性暂时衰退，当这些物质不存在时，其活性短期内就能恢复。

其次，尘埃、金属锈、煤灰、硅、有机金属化合物等被覆盖在催化剂表面上，影响废气中的可燃物与催化剂表面接触，从而使活性降低。可用中性洗涤剂清洗，或烧掉被覆盖物，当用以上方法反复进行处理，其活性还不能恢复时，该催化剂必须进行再生处理。

### 11.3.8　什么是废气的吸收法?

废气的吸收法是用液体作为吸收剂，使废气中有害成分被液体吸收，从而达到净化的方法。

其吸收过程是气相和液相之间，进行气体分子扩散，或者是湍流扩散进行的物质转移。如果该过程按两相边界面学说进行，即流体的湍流是没有明显的气相与液相界面，而是在接触中形成各自薄层的界膜，成为物质移动的大部分阻力，从而支配着吸收速度。被吸收物质由分于扩散通过相界膜，而气体物质扩散推动力是气体本身与相界膜吸收溶质的分压差，和相界膜的液体中溶解溶质的浓度与液相中溶质浓度之差。

从吸收法原理可知，吸收法关键是吸收剂的选择。对于涂装废气是经常变换的多种溶剂的低浓度混合气体，其吸收剂的选择极困难。通常将水或水溶液作为吸收剂。在涂料施工排出废气中，以疏水性溶剂为主要成分，用水作为吸收剂其效果不好。对于疏水性溶剂吸收效果好的吸收剂，其价格贵，本身具有恶臭，同时吸收的溶剂分离较困难。

在实际生产中选用何种吸收剂，主要考虑的因素是：对被吸收的气体的溶解度要大；吸附剂粘度适中、蒸气压小、化学稳定性好；无腐蚀性、发泡性和易燃性；价格较便宜。

在国内外生产实际中，已有用水作为吸收剂，处理水溶性涂料，排出主要成分为亲水性溶剂的实例，其工艺流程如图 11-24 所示。

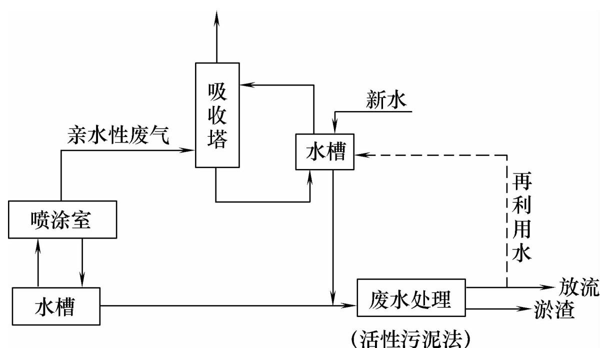


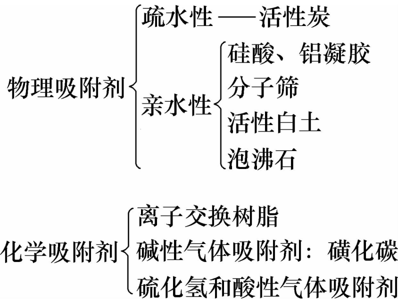

图 11-24　用水吸收亲水性喷漆废气工艺流程

吸收工艺过程中，废气由塔底进入塔内，作为吸收剂的水，从吸收塔上部进入并被分散。在气体由下而上和液体从上至下的接触过程中，在相界膜中，废气中有害溶剂气体被水吸收，使废气得到净化。净化后，气体由吸收塔上部排出，而含有废气的水，由塔底排出并流入水槽。需对产生的废水作第二次处理。

### 11.3.9　什么是废气的活性炭吸附法？

当气体分子运动到达固体表面时，由于气体分子与固体表面分子之间相互作用，使气体分子暂时停留在固体表面，气体分子在固体表面浓度增大，这种现象称为气体在固体表面上的吸附。被吸附物质称为吸附质，吸附吸附质的固体物质称为吸附剂。而活性炭吸附法是活性炭作为吸附剂，把废气中有机物溶剂的蒸气吸附到固相表面进行吸附浓缩，从而达到净化废气的方法。

工业上常用的吸附剂分类如下：




在为去除有机溶剂为目的的场合，活性炭是最适宜的吸附剂。因为其他吸附剂的分子结构具有极性，即具有亲水性，易选择吸附大气中的水分，而有机溶剂是无极性的或极性是弱的，其吸附率低。活性炭则相反，它具有疏水性，表面由无数细孔群组成，其孔径平均为（10～40）$\times10^{-8}$cm。比表面积比其他吸附剂大，一般为 600～1500$m^2/g$，因而具有优异的吸附性能。

活性炭随原料和活化方法不同，生成活性炭的物性也不相同。表 11-24 为常用活性炭品种和物理性能。

**表 11-24　常用活性炭品种和物理性能**

| 活性炭原料 | 形状 | 粒度(号) | 硬度(%) | 气孔率(%) | 空间率(%) | 充填密度/($g/cm^3$) | 平均孔径/$\times10^{-8}$cm | 比表面积/($m^2/g$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 果壳 | 颗粒 | 4/6,6/8,8/10 等 | 80～99 | 50～65 | 35～42 | 0.45～0.55 | 20～35 | 900～1300 |
| | 破碎 | 6/10,10/32 等 | — | 50～65 | 35～45 | 0.40～0.60 | 20～35 | 900～1500 |
| 木材 | 颗粒 | 4/6,6/8,8/10 等 | 80～99 | 55～65 | 35～42 | 0.36～0.54 | 20～35 | 1000～1300 |
| | 破碎 | 6/10,10/32 等 | — | 55～65 | 33～45 | 0.36～0.54 | 20～35 | 900～1400 |
| | 粉末 | — | — | 60～80 | 40～55 | 0.21～0.40 | 20～60 | 700～1300 |
| 泥煤 | 颗粒 | 4/6 等 | 80～99 | 50～65 | 35～42 | 0.35～0.50 | 20～40 | 600～1500 |
| 褐煤 | 粉末 | — | — | 60～75 | 35～55 | 0.26～0.40 | 20～40 | 800～1300 |
| 煤 | 颗粒 | 4/6 等 | 80～99 | 50～65 | 35～42 | 0.37～0.54 | 20～45 | 900～1300 |
| | 破碎 | 8/32,10/42 等 | — | 50～70 | 33～45 | 0.35～0.60 | 20～50 | 700～1200 |
| 石油 | 颗粒 | 4/6,6/8 等 | — | 50～65 | 35～42 | 0.40～0.52 | 20～40 | 900～1300 |

### 11.3.10　什么是活性炭的吸附容量?

活性炭的吸附容量是在吸附达到平衡下，单位重量的活性炭所吸附的吸附质的重量。而吸附容量随吸附质不同而不同，对同族的吸附质，其相对分子质量大，沸点高，其吸附容量也大。用活性炭处理有机废气的吸附容量如图 11-25 所示，除低沸点的碱性气体外，吸附容量大约在 10% ~40% 范围内，一般约为 25% 左右。原料不同的活性炭具有不同的比表面积和孔径，其吸附量也不同。

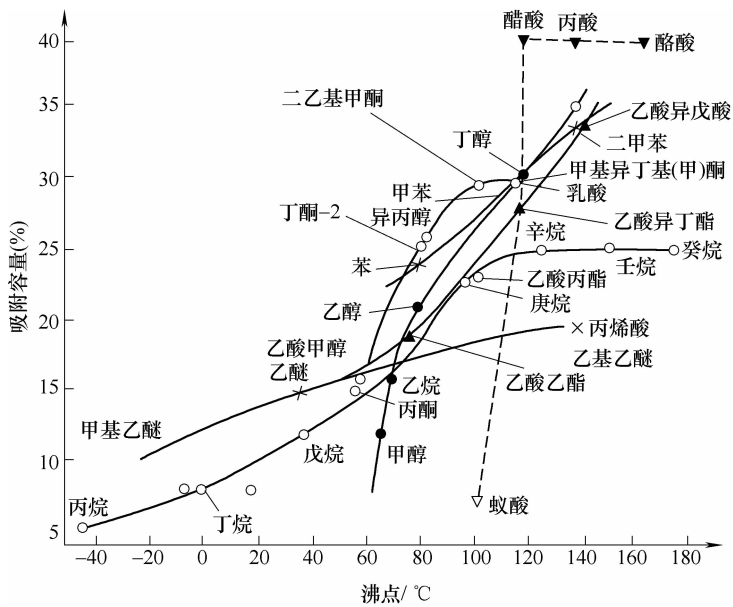



图 11-25　活性炭对有机废气的吸附容量

（测定条件：气压为 101. 325kPa，气温 20℃）

### 11.3.11　什么是等温吸附和吸附等温曲线?

在一定温度下，吸附量和平衡浓度之间的关系，可由各种吸附等温式表示，多数场合用 Freundlich 的吸附等温式表示，其公式如下

$$q = KC^{1/n}$$

式中　$q$——吸附率；

$C$——平衡浓度；

$n$——在一定范围内表示吸附过程的经验系数；

$K$——常数。

吸附等温曲线表明了气体浓度、吸附率和温度之间的关系，如图 11-26 所示。由图可知，温度越低，吸附数率越高；废

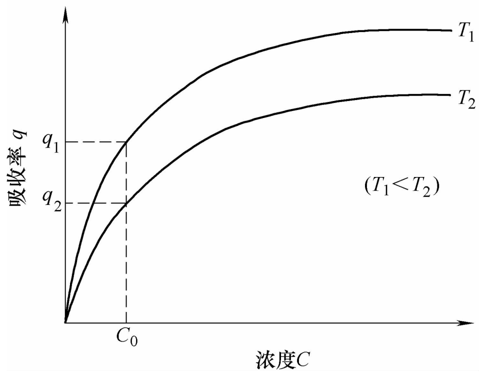



图 11-26　吸附等温曲线

气的浓度越高，吸附率越高。因此在低温下，废气的浓度越高，吸附率也越高。

工业上利用活性炭进行吸附的方式有固定层、移动层、流动层和接触过滤等方式。在气相条件下，用活性炭来处理废气场合，由于活性炭的磨耗和粉化程度小，固定层吸附方式最适宜。

用固定层方式，活性炭处理废气的吸附过程如图11-27所示。当处理废气通过吸附层时，大部分的吸附质在吸附层内被吸附。随着吸附时间延续，活性炭层的吸附能力降低，而活性炭层有效部分越来越薄，当出口处气体中含有被吸附质时，整个活性炭层被穿透，若继续使用，处理后气体中所含吸附质越来越多。当出口侧浓度达到入口浓度时，则活性炭达到饱和状态。此时活性炭需要再生处理，才能继续使用。

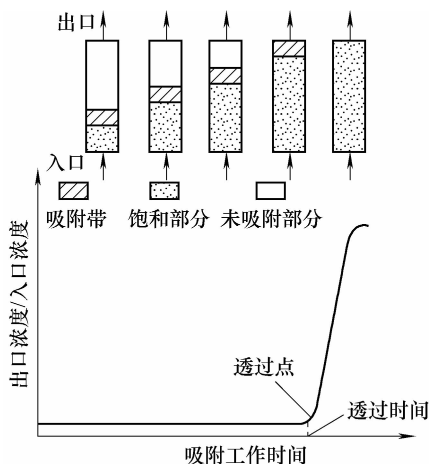


图11-27　活性炭处理废气的吸附过程

在工业中，用活性炭处理由喷涂室、烘干室等排出有机溶剂废气的工艺流程，如图11-28所示。来自喷涂室和烘干室的废气，经过过滤器和冷却器后，除去废气中漆雾，并降低到所需的温度。由吸收塔下部进入吸收塔，在吸收塔内废气中所含的有害气体，被活性炭吸附，使废气得到净化，净化后干净气体被排放到大气中。

随着吸附时间增长，活性炭的活性逐渐降低，最后失去活性达到饱和状态。此时需要脱附，使活性炭重新具有活性。即通过吸收塔上部通入水蒸气，使活性炭层脱附，经脱附后的活性炭可继续使用。经脱附后的水蒸气和减脱有机溶剂蒸气的混合气体，进入冷凝器，冷却成液体，然后再进入分离器，使溶剂和水分离，回收溶剂。如果水中还含有亲水的醇类、丙酮等，该水还经处理后才能排放。

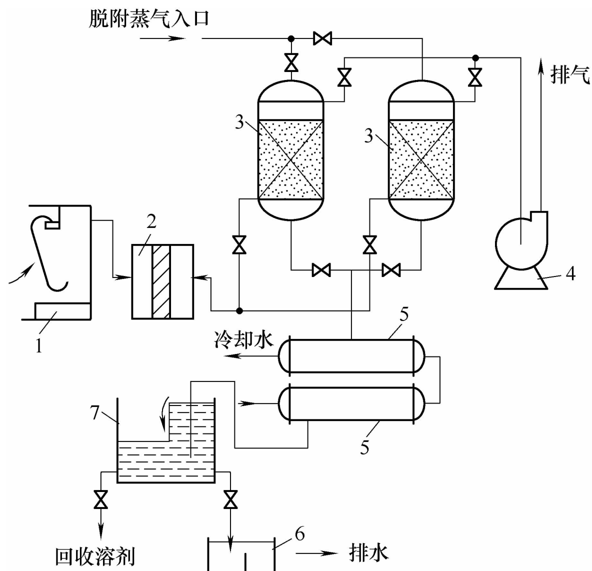


图11-28　活性炭吸附法的工艺流程

1—喷涂室　2—过滤器　3—吸附塔　4—排风机
5—冷凝器　6—废水槽　7—溶剂分离器

### 11.3.12　使用活性炭吸附法时有哪些注意事项？

1）活性炭吸附率变化：吸附装置处理废气的初期，由于吸附率变化，运转初期活性炭的饱

和时间预测较困难，可在气体入口处和出口处定期测定气体浓度。其吸附率变的主要原因是：涂料使用量和种类变动；气温和湿度的变化；活性炭性能恶化。

2）当活性炭层风速分布不均匀，引起偏流沟流，使局部达到透过。吸附质的泄漏使活性炭寿命减短时，应考虑以下情况：吸附塔的设计是否合理；吸附层的金属网是否部分破损；空塔速度是否过慢；吸附层压力损失是否过低；活性炭的填充是否合理。

3）应对废气进行预处理，以提高活性炭的吸附效率和活性炭使用寿命。

4）应考虑防爆和防止活性炭层自燃，以保证安全运行。

5）活性炭要定期进行补充，由于活性炭在循环使用和再生处理中，活性炭磨损化、氧化分解和不纯物的粘附等原因，使活性炭用量减少和性能恶化。活性炭再生方法及特点见表 11-25。

**表 11-25　活性炭再生方法及特点**

| 方法名称 | 特　　点 | 适用范围 |
|---|---|---|
| 水蒸气再生 | 1）水蒸气用量为吸附质溶剂的 3 ~ 5 倍<br>2）当吸附剂中含醋酸乙酯类的溶剂，水解后生成物含酸性，其设备用不锈钢材制作<br>3）吸附质为低沸点，用 100 ~ 150℃水蒸气脱附<br>4）吸附质为高沸点，用 200 ~ 400℃过热饱和蒸汽脱附 | 现场和专门活性炭再生厂 |
| 不活性气体再生法 | 1）氧气分压极低不活性气体，加热 300 ~ 400℃可脱附<br>2）脱附时几乎没有冷凝水，不需要废水处理 | 现场和专门活性炭再生厂 |
| 高温烧结再生法 | 在炉中有少量氧气存在下，用水蒸气或不活性气体，加热到 600 ~ 1000℃烧结再生 | 适合活性炭生产厂或专门从事活性炭再生的厂 |
| 减压蒸馏法 | 1）高真空下，较低温度可脱附高沸点的溶剂<br>2）需要真空泵，同时要求脱附塔耐压和气密性好 | 适合专门从事活性炭再生的厂 |

### 11.3.13　建筑领域的低 VOC 涂装体系包括哪些内容？

建筑领域主要是对水泥墙体和其他材料进行涂装。混凝土表面涂装主要起装饰作用，都采用水性乳胶涂料，并依靠导入有机氟、有机硅、聚氨酯系树脂，赋予建筑涂料高耐候性、高耐久性、耐溶剂性和耐污染性。高性能建材涂料的用途正在扩大，而对于铝窗框、螺纹钢筋，电泳涂料占有重要地位。

此外，在防锈涂料方面，含合磷酸盐系等无公害防锈颜料，并以环氧树脂为主体的乳胶涂料，已作为环境适应型水基防锈涂料被实用化。

高固体分和无溶剂型涂料在建筑领域也有相应的应用：聚氨酯、环氧无溶剂型涂料仅用于地面；而高固体分涂料正在建筑物外壁、屋面和铁件上被逐渐使用。

建筑、建材领域的低 VOC 排放涂装体系的参考方案分别见表 11-26 和表 11-27。

**表 11-26　建筑领域的低 VOC 涂装体系参考方案**

| 使用场所 | | 材料种类 | 加工状态 | 底　　漆 | 中　　涂 | 面　　漆 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 外部 | 外墙 | 混凝土、灰浆、板材 | 砖状、小波纹状 | 丙烯酸或环氧乳胶涂料 | 丙烯酸、环氧乳胶涂料或水泥、丙烯酸乳胶为主要材料 | 丙烯酸、交联性丙烯酸或氟系乳胶涂料 |
| | | | 砂壁状 | 丙烯酸乳胶涂料 | 丙烯酸乳胶为主要材料的涂料 | |
| | | | 平面磨砂、抹光加工 | 丙烯酸或环氧乳胶涂料 | | 丙烯酸、交联性丙烯酸或氟系乳胶涂料层 |
| | 屋面 | 水泥瓦 | 平滑加工 | 丙烯酸乳胶涂料 | | 丙烯酸、交联性丙烯酸乳胶涂料 |
| 内部 | 地面 | 混凝土 | 平滑加工 | 丙烯酸、环氧乳胶涂料或无溶剂环氧涂料 | | 丙烯酸、环氧乳胶涂料或无溶剂环氧、聚氨酯涂料 |
| | 钢筋、铁门 | 金属 | | 环氧乳胶涂料或醇酸、环氧、聚氨酯高固体分涂料 | 环氧乳胶涂料或醇酸、环氧、聚氨酯高固体分涂料 | 丙烯酸乳胶涂料或醇酸、丙烯酸、聚氨酯高固体分涂料 |

**表 11-27　建材领域的低 VOC 涂装体系参考方案**

| 使用场所 | 材料种类 | 底　　漆 | 中　　涂 | 面　　漆 |
|---|---|---|---|---|
| 外墙无机建材 | 中空压力成型板、各种板材 | 丙烯酸、环氧乳胶涂料、光固化涂料 | 丙烯酸、交联性丙烯酸或氟系乳胶涂料、聚氨酯高固体分涂料 | 丙烯酸、交联性丙烯酸或氟系乳胶涂料、聚氨酯高固体分涂料 |
| 外墙金属建材 | 铝合金 | 丙烯酸电泳涂料（主要方法） | | |
| | 铝、镀锌板 | 环氧高固体分涂料 | 环氧高固体分涂料 | 聚氨酯高固体分涂料 |
| 窗框 | 铝合金 | 丙烯酸电泳涂料（主要方法） | | |
| | | 环氧高固体分涂料 | 环氧高固体分涂料 | 聚氨酯高固体分涂料 |
| 屋面 | 水泥瓦 | 丙烯酸乳胶涂料 | 丙烯酸或交联性乳胶涂料 | 丙烯酸或交联性乳胶涂料 |
| 彩色钢板屋面（PCM） | 镀锌板、不锈钢板① | 环氧高固体分涂料 | | 聚酯、聚氨酯、氟系高固体分涂料 |
| 建筑钢筋 | 钢筋 | 阴、阳极电泳涂料 | 环氧高固体分涂料 | 聚氨酯高固体分涂料 |
| | | 阴、阳极电泳涂料 | | |
| | | 环氧改性水性浸漆 | | |
| | | 丙烯酸乳胶涂料 | | |

① 回收溶剂，并作为燃料燃烧提供热量。

### 11.3.14　钢铁结构件的低 VOC 涂装体系有哪些内容？

对于大型钢铁结构件、桥梁和其他装置，需要耐久的耐蚀性和装饰性，因而在长效腐蚀防护领域中利用水性化来削减溶剂，在技术方面还存在很多问题。

使用的醇酸、环氧、聚氨酯、改性环氧、氟树脂、氯化橡胶等涂料都是溶剂型色漆。现在，醇酸树脂涂料已高固体分化，改性环氧树脂、环氧树脂及聚氨酯已开发出高固体分型和无溶剂型涂料，它们的应用已有一定的增加。在长效腐蚀防护钢铁结构件领域中降低 VOC 的涂装方法见表 11-28。

**表 11-28　低 VOC 长效腐蚀防护钢铁结构件的涂装方案**

| 使用场所 | 材料种类 | 预涂底漆 | 中涂 | 面漆 |
|---|---|---|---|---|
| 桥梁、槽罐、其他钢结构 | 钢材 | 无机富锌、环氧富锌 | 环氧高固体分涂料 | 环氧、聚氨酯、氟系高固体分涂料 |
| | 铝、镀锌板、不锈钢板 | 乙烯基预涂底漆 | 环氧高固体分涂料 | 环氧、聚氨酯、氟系高固体分涂料 |
| 铁管 | 钢管 | 醇酸高固体分涂料、光固化涂料 | | |
| | 铸铁管 | 环氧粉末涂料、丙烯酸乳胶涂料 | | |

### 11.3.15　船舶领域的低 VOC 涂装体系有哪些内容？

船舶腐蚀防护涂装体系主要考虑船底部的防污性、对浸水部位的适应性、对于湿交替部位的适应性、上部构件的耐候性、载物舱位的耐久性等诸多方面的各种要求。船底部腐蚀防护涂料低 VOC 化困难较多，主要倾向于醇酸、环氧、环氧沥青等树脂涂料和聚氨酯涂料的高固体分化、无溶剂化。船舶领域降低 VOC 的涂装体系示例见表 11-29。

**表 11-29　船舶领域降低 VOC 的涂装体系方案**

| 使用场所 | 材料种类 | 预涂底漆 | 中　涂 | 面　漆 |
|---|---|---|---|---|
| 上层结构外部 | 钢铁 | 无机富锌、环氧富锌 | 环氧高固体分涂料 | 环氧、聚氨酯、氟系高固体分涂料 |
| 上层结构内部 | 钢铁 | | 醇酸、环氧、丙烯酸水性涂料 | 醇酸、环氧、丙烯酸水性涂料 |
| 槽罐 | 钢铁 | 无机富锌 | 环氧高固体分或无溶剂涂料 | 环氧高固体分或无溶剂涂料 |

### 11.3.16　汽车维修领域的低 VOC 涂装体系有哪些内容？

汽车维修领域，轿车车身部位只喷涂聚氨酯树脂涂料，醇酸树脂涂料则用作底盘部位的维护涂装。

汽车维修时的低 VOC 涂装体系方案：对车身部位的底漆及面漆采用高固体分化或水性化涂料；对于底盘用涂料，水性化所占比例会进一步增加。汽车维修涂装时的低 VOC 涂装体系示例见表 11-30。

表 11-30　汽车维修涂装时的低 VOC 涂装体系示例

| 使用场所 | 材料种类 | 底　　漆 | 中　　涂 | 面　　漆 |
|---|---|---|---|---|
| 车身 | 钢板 | 环氧、聚氨酯高固体分涂料 | 不饱和聚酯腻子 | 聚氨酯高固体分涂料 |
| | | 环氧、聚氨酯高固体分涂料 | 聚氨酯高固体分金属底色漆 | 聚氨酯高固体分清漆 |
| 底盘 | 钢板 | 改性醇酸水性涂料 | | |

## 11. 3. 17　新车的低 VOC 涂装体系有哪些内容?

国外有关限制 VOC 排放的各种法规或作为降低 VOC 的对策方案，基本都是围绕汽车涂装领域提出的。对新车，倾向于水系涂料、高固体分涂料和粉末涂料。底漆采用阴极电泳已很普遍，中涂则趋向使用水性化和粉末涂料。在欧洲，采用金属底色漆成为主流，占汽车涂装溶剂排放量约 50% 的金属底色漆转向水性化，而提高耐候性、水性化、粉末化的透明罩光涂层的涂装体系已进入实用阶段。

在日本，也以金属底色漆涂层为主体。为了采用水性涂料，对有利于水分挥发的送风、温湿度调节设备及排水设备进行了实用化系统组合与设置新车涂装降低 VOC 的涂装体系示例见表 11-31。

表 11-31　新车涂装降低 VOC 的涂装体系示例

| 使用场所 | 材料种类 | 底漆 | 中　　涂 | 面　　漆 |
|---|---|---|---|---|
| 车身 | 钢板 | 阴极电泳底漆 | 聚酯、氨基高固体分涂料 | 氨基、丙烯酸高固体分涂料 |
| | | | 高固体分涂料（粉末涂料） | 水性金属底色漆 + 丙烯酸高固体分或粉末清漆 |
| 零部件 | 铸铁 | 阳/阴极电泳底漆、（环氧）丙烯酸水性浸漆、氨基水性烘漆 | | |
| | | 环氧高固体分涂料 | | 丙烯酸高固体分涂料 |
| | 铝轮毂 | 阳/阴极电泳清漆、丙烯酸高固体分清漆、丙烯酸粉末清漆 | | |
| | 塑料 | 聚氨酯高固体分涂料 | 聚氨酯高固体分涂料 | 聚氨酯高固体分涂料 |

## 11. 3. 18　家电、金属制品领域的低 VOC 涂装体系有哪些内容?

以前生产的洗衣机、冰箱、家电产品和自动售货机等以溶剂型丙烯酸树脂烘漆为主，也有部分使用聚酯系粉末涂料的，现在采用高固体分涂料的同时，粉末涂料的应用也日益普及，并推广了彩色钢板（PCM）的使用。

关于 PCM，面漆以前多为溶剂型聚酯、丙烯酸、有机硅改性聚酯涂料，底漆为溶剂型外氧涂料；内表面为溶剂型氨基醇酸涂料。今后会将进一步推进粉末化、高固体外化涂料的使用；并采用辊涂等涂料损失少的施工方法；或在高温烘干时，设置溶剂回收系统并将回收的溶剂作为热源利用，构成一个封闭系统来解决 VOC 排放的问题。

食品包装盒的涂装一直是以环氧树脂内壁涂料为主体，现在实施了采用具有良好柔

韧性的环氧系阳离子型水性涂料及高固体分涂料的低 VOC 对策方案。家电、金属制品领域中降低 VOC 的涂装示例见表 11-32。

**表 11-32　家电、金属制品领域降低 VOC 的涂装示例**

<table>
<tr><th>使用场所</th><th>材料种类</th><th>底　　漆</th><th>中　　涂</th><th>面　　漆</th></tr>
<tr><td rowspan="2">冰箱</td><td rowspan="6">钢板镀<br>锌钢板</td><td>阳/阴极电泳底漆、环氧高固体分涂料</td><td>（氨基、丙烯酸高固体分涂料）</td><td>氨基、丙烯酸高固体分涂料</td></tr>
<tr><td colspan="3">聚酯、丙烯酸粉末涂料</td></tr>
<tr><td rowspan="2">空调机</td><td>阳/阴极电泳涂料、环氧高固体分涂料</td><td>（丙烯酸高固体分涂料）</td><td>丙烯酸高固体分涂料</td></tr>
<tr><td colspan="3">聚酯、丙烯酸粉末涂料</td></tr>
<tr><td>自动售货机</td><td>环氧高固体分涂料</td><td></td><td>丙烯酸高固体分涂料</td></tr>
<tr><td>办公用具</td><td colspan="3">聚酯、丙烯酸粉末涂料<br>氨基醇酸高固体分涂料<br>聚酯、环氧聚酯粉末涂料<br>丙烯酸电泳涂料<br>氨基醇酸水性涂料</td></tr>
</table>

## 11.4　涂装废渣处理

### 11.4.1　涂装废渣是如何产生的?

工矿企业排出的固体废弃物统称废渣。在涂料制造厂的废弃物的发生量，约为涂料生产量的 1%，而废溶剂约为涂料的两倍，随生产品种和花色增多，清洗溶剂、废涂料及容器、抹布等废弃物随之增多，约为涂料生产量的 2% ~4%。而涂装工厂废弃物发生量与生产方式、涂料品种、涂装方法、被涂物的形状和大小等有关。而涂着效率与喷涂室中捕捉废漆渣的发生量成反比，如当涂着效率在 30% ~90% 宽范围场合下，其喷涂室的漆渣产生量与涂着效率成反比。即涂着效率高，其产生漆渣最少，反之漆渣产生量大。

另外，当生产线换色、清扫等的涂料和在库中不能使用涂料为 5% ~10%，同样废溶剂产生量为 5% ~10%。

### 11.4.2　涂装废渣的种类有哪些?

对于涂料与涂装工厂的废弃物大体可分为以下几种，见表 11-33。废弃物的性质和形态随所使用涂料的种类、排出的场所、收集、保管的方法而异。涂装有关废弃物的性质见表 11-34。

**表 11-33　涂料与涂装工厂废弃物**

| 序号 | 名称 | 特　　点 |
|---|---|---|
| 1 | 废涂料 | 仍呈液体块，其组成和性能与原涂料差别不大混色，弄脏等涂料 |

（续）

| 序号 | 名称 | 特　　点 |
|---|---|---|
| 2 | 废溶剂 | 清洗设备，容器等的溶剂，含有少量油，树脂，颜料等 |
| 3 | 涂料废渣 | 其中含有腻子，已胶冻涂料，喷漆室的漆渣，剥落旧漆皮，蒸馏溶剂后残渣 |
| 4 | 水性沉渣 | 水性废涂料，废水处理后沉淀 |
| 5 | 其他 | 废的涂料桶，塑料容器，颜料包装袋，废旧布，旧手套及空木箱等 |

**表 11-34　涂装有关废弃物性质**

| 名　　称 | 水分(%) | 灰分(%) | 可燃分(%) | 发热量/(J/g) | 备　　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 油性调合漆 | 5.9 | 55.9 | 38.2 | 14044.8 | |
| 油性调合漆 | 1.0 | 39.0 | 60.0 | 18308.4 | |
| 防锈漆 | 2.1 | 77.6 | 20.3 | 7064.2 | |
| 防锈漆 | 1.5 | 55.0 | 43.5 | 18141.2 | |
| 合成树脂调合漆 | 1.0 | 27.1 | 71.9 | 26501.2 | |
| 硝基磁漆 | 2.3 | 0.1 | 97.6 | 30639.4 | |
| 醇酸树脂磁漆 | 1.7 | 15.0 | 83.3 | 33732.6 | |
| 三聚氰胺树脂磁漆 | 1.2 | 25.0 | 73.8 | 25414.4 | |
| 丙烯酸树脂磁漆 | 1.5 | 26.0 | 72.5 | 26208.6 | 热固性 |
| 环氧树脂磁漆 | 2.9 | 28.5 | 68.6 | 25205.4 | |
| 氯化橡胶涂料(面漆) | 0.9 | 32.2 | 66.9 | 16636.4 | (含 Cl10.38%) |
| 硝基腻子 | 1.2 | 50.3 | 48.5 | 21903.2 | |
| 油性腻子 | 4.3 | 59.0 | 36.7 | 21819.6 | |
| 油性腻子 | 0.5 | 58.2 | 41.3 | 14044.8 | |
| 聚酯腻子 | 0.2 | 47.8 | 52.0 | 16845.4 | |
| 聚酯腻子 | 0.6 | 49.5 | 49.9 | 12372.8 | |
| 聚酯清漆 | 0.2 | 0.1 | 99.7 | 30305 | 已胶凝 |
| 废溶剂蒸馏残渣 | 1.4 | 6.7 | 91.9 | 33941.6 | |
| 废溶剂蒸馏残渣 | 59.7 | 4.3 | 36.0 | 11035.2 | 蒸气蒸馏 |
| 废溶剂蒸馏残渣 | 50.1 | 0.3 | 49.6 | 20398.4 | 蒸气蒸馏 |
| 喷涂室废漆渣 | 62.3 | 19.8 | 17.9 | 6311.8 | |
| 喷涂室废漆渣 | 48.1 | 13.6 | 38.3 | 11411.4 | |
| 喷涂室废漆渣 | 34.6 | 8.7 | 56.7 | 18392 | |
| 喷涂室废漆渣 | 1.4 | 27.1 | 71.5 | 24494.8 | |
| 喷涂室废漆渣 | 0.6 | 37.7 | 61.7 | 19520.6 | |
| 水性漆沉渣 | 70.0 | 21.6 | 8.4 | 1588.4 | 乳胶漆 |

（续）

| 名　　称 | 水分(%) | 灰分(%) | 可燃分(%) | 发热量/(J/g) | 备　　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 水性漆沉渣 | 65.2 | 32.5 | 2.3 | 1546.6 | 乳胶漆 |
| 水性漆沉渣 | 66.3 | 3.9 | 29.8 | 6228.2 | 电泳涂料 |
| 水性漆沉渣 | 8.3 | 28.5 | 63.2 | 23240.8 | 电泳涂料 |
| 过滤材料渣 | 0.1 | 39.5 | 60.4 | 24829.2 | |
| 过滤涂料用的过滤器 | 6.0 | 0.4 | 93.6 | 24285.8 | |
| 喷漆室用的过滤器 | 0.6 | 27.3 | 72.1 | 19353.4 | |
| 聚乙烯容器 | — | 1.7 | 98.3 | 445588 | |
| 纸袋 | 2.7 | 1.3 | 96.0 | 13417.8 | |
| 纸袋 | 0.6 | 0.9 | 98.5 | 15633.2 | |

### 11.4.3　如何减少涂装废渣的产生?

为了提高产品质量，降低成本，尽量减少废弃物的发生量。其减少废弃物发生量的对策如下：

1）提高涂着效率：涂装工厂中废弃物主要发生地是喷涂室的漆渣，而漆渣的发生量与涂着效率成反比。因此减少废弃物，必须提高涂着效率。

2）将已混色等废涂料和新涂料混合后，作为要求不高的底漆等使用。

3）废溶剂可再生处理后使用，通常处理废溶剂可采用真空蒸馏和水蒸气蒸馏方法。当废溶剂中含有树脂、颜料等，可用等量水，再加入乳化剂，搅拌混合后静止，除去底部树脂，颜料等的胶冻物。上层清液用溶剂回收方法处理可得到清洁再生溶剂。

### 11.4.4　涂装废渣的处理方法有哪些?

从涂料和涂装工厂排出的废弃物，按工业废弃物分类，大部分属废油类，按照废弃物处理的法规，废油类严禁深埋和投入海洋处理，必须进行焚烧处理。与涂装有关废弃物多数是属于易燃物，因此适用于焚烧处理。

涂料涂装废弃物处理时，首先要根据废弃物的性质、组成，特别是发热量等设计出较好的处理方法和方案。

因废弃物大多易燃、易爆，处理最终产物较难达到环保要求等因素，单个工厂建立废弃物处理设施是不经济的。按地区和行业统一建立废弃物处理，可将废弃物分类焚烧。从防止二次污染，安全，防火等技术和经济性等方面考虑更为合理。

### 11.4.5　涂装废渣的处理装置有哪些?

废渣处理装置一般由破碎压缩、分选、焚烧、回收、无害化处理装置所组成。其中最重要的是焚烧炉，而焚烧炉种类繁多，为能将废弃物安全而又方便地投入炉中，使处理效果好，应根据废弃物种类、性质、发生量等诸因素来选择焚烧炉，并应与贮存、搬运、破碎等预处理和废热综合利用，废水、废气和灰分等处理装置配套成综合的处理线。

应按下面因素来选择焚烧炉：

1）液状和固状的废弃物的发生比率。

2）焚烧灰分产生量大小。

3）有无有害气体发生。

4）废弃物的发热量等。

### 11.4.6　常用燃烧炉的适用性有哪些？

常用燃烧炉适用性见表 11-35。

**表 11-35　常用燃烧炉的适用性**

| 型号 | 废涂料 | 废溶剂 | 涂料渣 | 水性沉渣 | 废漆桶 | 其他 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 固定炉床式 | ○ | ○ | ○ | △ | △ | △ |
| 旋转炉式 | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ |
| 流动燃烧式 | ○ | ○ | ◎ | ○ | × | ○ |
| 喷雾燃烧式 | ◎ | ◎ | △ | × | × | × |

注：适用性由强到弱排序：◎—○—△—×。

如果选用的燃烧炉与实际的废弃物不相适应，不仅降低焚烧炉的效率，还可能造成事故，所以设计废弃物处理方法之前，一定要很好地调查了解清楚。

### 11.4.7　涂装废渣的处理过程中有哪些注意事项？

因涂料和涂装的废弃物大部分是易燃物，所以用焚烧法可以减少废弃物的量，在保管中或装料坑，破碎等工艺过程中，有自燃着火的危险，应备有防火设备和电气防爆等措施。在处理时还应考虑降低成本和节省资源，因此应注意以下几点：

1）谋求资源的有效利用，减少废弃物的发生量。

2）要考虑资源回收和再利用。

3）应将废弃物分类收集，并按废弃物种类采用最适宜的处理。

4）要防止二次综合污染。

5）要防止火灾等事故。

当焚烧中有有害气体发生时，如在废弃物中含有氯化橡胶、聚氯乙烯含氟树脂涂料等，焚烧时有氯化氢和氟化氢气体产生，炉子结构材料和气体水洗设备等必须选用钛等耐蚀性强的材料。

其次焚烧后的灰分中是否有危害物质。在涂料成分中残留的灰分主要是颜料，当含有铅、铬化合物颜料的涂料焚烧，须进行必要的有关有害物质的分析检查。同时若含有这类有害物应单独焚烧，以便从不含有害物质的焚烧灰分中分离出来。可减少处理量，便于进行最终的处理。

有的涂料渣呈大块状，不能原封不动地投入焚烧炉。同时为防止废气中的微粉尘对大气的污染，除设置有害气体吸收装置外，还必须配置静电除尘装置和抽引式洗涤器，并经常注意炉内温度和燃烧状况，防止异常燃烧，产生恶臭和黑浓烟。

# 第 12 章　涂装车间布置

## 12.1　涂装车间的布置设计

### 12.1.1　什么是涂装车间的布置设计?

涂装车间的布置设计是指对厂房的平面、立面结构、内部组成、生产设备、仪表电气设置等一切有关设施进行合理安排布置，设计出既符合生产工艺要求，又经济实用、整齐美观的布局。布置的合理性直接影响建设项目的投资、投产后的操作、检修和安全，以及各项经济指标的完成情况。例如，厂房布置过于宽敞，会增加建设投资；若过于紧凑，会影响日后安装、操作、检修等工作，甚至还会导致生产事故的发生。因此，必须把车间当成一个整体，全面衡量，合理安排，切实做好车间布置工作。

### 12.1.2　涂装车间的分类有哪些?

涂装车间一般是指现代化机械工厂中，由涂装设备、厂房及其相配套的公用设施组成的生产部门。工件可按照涂装工件的外形尺寸、重量，生产批量，涂装工艺和干燥工艺，生产流水线的组织等进行分类。按工件的外形尺寸和重量分类见表 12-1。相应的涂装车间的类别与特征见表 12-2。涂装车间生产流水线的组织形式见表 12-3。

**表 12-1　工件的分类**

| 规格和组别 | 重量/kg | 尺寸/mm | 规格和组别 | 重量/kg | 尺寸/mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Ⅰ特轻型、小型 | 5 以下 | 250 以下 | Ⅱ中型 | 2000 以下 | 3000 以下 |
| 轻型、小型 | 100 以下 | 700 以下 | Ⅲ大型、重型 | 2000 以上 | 3000 以上 |

### 12.1.3　涂装车间的设计依据有哪些?

1）厂区总平面图。

2）生产工艺流程图。

3）设备一览表。

4）物料贮存运输要求。

5）配电、实验、仪器、仪表控制、生活办公要求。

6）有关布置方面的一些规范资料。

7）车间定员表。

### 12.1.4　涂装车间的布置设计有哪些基本条件?

1）明确车间在厂区的平面位置。

2）明确涂装车间与加工、总装车间和辅助部分的相互关系。

3）车间与原材料、工种和产品运输、动力输送和消防安全的关系。

**表 12-2　相应的涂装车间的类别与特征**

| 产品、零件组别 | Ⅰ | | | Ⅱ | | | | Ⅲ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 车间（工部、工段）类别 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 生产的成批性 | 大量、大批、成批 | | 成批流水 | 大量、大批、成批 | | 成批 | 小批、单件 | 大量、大批 | 成批 | 小批、单件 | |
| 运动形式 | 连续的 | 周期的直进的 | 周期的直进往复的 | 连续的 | 周期的直进的 | 直进往复（摆动）的 | 直进往复（摆动）的 | 周期的直进的 | 直进往复（摆动）的 | | 产品位置固定 |
| 工　艺　工　程 | | | | | | | | | | | |
| 表面准备 | 喷　淋　式 | | | | | | 喷淋式蒸汽喷射法 | 喷淋式 | 喷淋式蒸汽喷射法 | 手工方法蒸汽喷射法 | |
| 涂装工艺 | 空气喷涂，固定式静电喷涂，浸涂，淋涂，电泳涂装 | 空气喷涂，浸涂，淋涂 | 空气喷涂，手提式静电喷涂 | 空气喷涂与无空气喷涂，静电喷涂，淋涂，电泳涂装 | 空气喷漆与无空气喷涂，浸涂，淋涂 | | 空气喷涂与无空气喷涂，淋涂，手提式静电喷涂 | 空气喷涂与无空气喷涂，淋涂 | 空气喷涂与无空气喷涂，淋涂，手提式静电喷涂 | 空气喷涂与无空气喷涂，淋涂 | 空气喷涂与无空气喷涂 |
| 干燥 | 强　制　干　燥 | | | | | | 强制干燥<br>自然干燥 | 强制干燥 | | 强制干燥和自然干燥 | |
| 工艺设备 | 通过式 | | 通过式和尽头式 | 通过式 | | | 通过式和尽头式 | 通过式 | | 通过式和尽头式 | |
| 起重运输设备 | 普通悬挂输送机，推式输送机，鳞板式输送机 | 周期动作的悬挂输送机，鳞板式输送机 | 悬挂输送机，辊道，单轨葫芦，地面输送机 | 连续动作悬挂输送机，推式输送机，鳞板式输送机，地面输送机 | 周期动作的悬挂输送机，推式输送机，鳞板式输送机，地面输送机 | 地面（缆式）输送机，悬挂输送机，辊道 | 单轨葫芦，地面输送机 | 步地式地面输送机、悬挂纵向拉杆式输送机 | 地面输送机，悬挂纵向拉杆式输送机 | 地面（缆式和链式）输送机 | — |

表 12-3　涂装车间生产流水线的组织形式

| | |
|---|---|
| 1 | 第一种形式Ⅰ组和Ⅱ组产品和零件连续运动，大量和大批流水生产<br>1—表面联合清洗机　2—烘干室（去水分）　3、6—喷涂室　4、7—烘干室　5、8—冷却室　9—连续动作的输送机<br>在输送机运动过程中，整个流水线各工位上同时完成所有各种工序，工作地固定布置在输送机一侧或两侧 |
| 2 | 第二种形式Ⅱ组和Ⅲ组产品和零件按规定节拍周期性向前移动的大批流水生产<br>1—表面清洗室　2、4—喷涂室　3、5—烘干室　6—周期动作的小车式输送机<br>工作地是固定的，只是在输送机停止时，在整个流水线的长度范围内，完成工艺过程的所有工序，如果某工序的持续时间大于输送机节拍时，可将该工序分在两个或更多个工位上完成 |
| 3 | 第三种形式Ⅱ组和Ⅲ组产品和零件作往复直线移动（摆动式）的成批生产（如车厢涂料）<br>1—喷涂室　2—无过滤器的底抽风格子板　3—烘干室　4—小车　5—地下输送链　6—轨道<br>产品的生产节拍大大超过了任何一个工序的持续时间。在节拍时间内，同一个工人在输送机的同一位置可以完成若干工序，因而这些产品可以从一个工位到另一个工位多次往返移动（如从涂装工位到烘干工位）。产品的移动采用可换向的输送机。按这种形式，通常是在三个工位（例如表面预处理、涂装和烘干）间来回移动，同时对两个产品进行涂装。工作是由一个工人小组从一个工位走到另一个工位的方式来完成的。这样的生产组织需要制定生产线工作循环周期表 |
| 4 | 第四种形式Ⅰ组小型产品和零件的成批流水生产<br>1—表面联合清洗机　2、3—悬挂式和板式输送机　4—喷涂室　5—三行程烘干室　6—带底抽风的工作台　7—风动升降机　8—轨道<br>在同一工位（同一喷涂室）可完成几道工序，如底漆或面漆涂装，这些工序完成后在同一个烘干室进行烘干 |

（续）

| | |
|---|---|
| 5 | 第五种形式Ⅱ组和Ⅲ组产品及零件用地下输送机往复移动的小批单件生产<br>1、2—喷涂室和烘干室　3—小车　4—地下输送链　5—轨道<br>按照这种流水形式，产品往复直线移动可以有两种方式，第一种方式——工作时一个产品在两个工位中往复摆动（如从涂装工位到烘干工位），采用通过式或尽头式设备，工序在涂装和烘干工位上轮流完成；第二种方式——几种产品同时涂装和烘干，这种系统可以用横向转运小车移动产品，采用的设备为尽头式 |
| 6 | 第六种形式Ⅱ组和Ⅲ组重型大型产品及零件，用转运小车移动的小批和单件生产<br>1—无过滤器的底抽风格子　2—喷涂室　3—烘干室　4—工艺小车　5—转运小车　6—轨道 |
| 7 | 第七种形式Ⅱ组和Ⅲ组产品小批和单件固定式生产<br>产品在工艺周期内，放在一个工位上进行涂装和自然干燥（例如，在喷涂室内或在底抽风的格子板上）。也可采用涂装和烘干方案（例如，在喷涂烘干联合室内）。对于那些难以搬动的重型大型产品及零件涂装和烘干时，位置固定较为合适 |

4）熟悉生产工艺流程原材料、工件和产品的贮存和要求及辅助设施要求。

5）了解各设备和设施的特点和要求，并要考虑日后安装、维护、操作位置、巡回路线和地段。

6）了解有关防火、防雷、防爆、防毒的措施及卫生、环保要求的有关安全标准。

7）要了解土建、设备、仪表、电气、给排水、采暖通风等专业和机修、安装、操作和管理等方面的需要。

8）了解非工艺设计的要求。

### 12.1.5　涂装车间的布置设计的原则是什么？

1）根据产量的大小、产品特点、上下加工工序之间的关系和运输距离等因素，涂装工作的布点应尽可能集中，以节省投资，方便管理，提高工艺和机械化水平。

2）工艺设计应掌握先进、合理、经济、可靠的原则，努力推广、采用节能、低污染和无污染型的涂装技术和装备，使新的涂装车间在各项技术、经济指标方面都具有较先进的水平。

3）应根据当地的能源情况选用供应充足、最经济的能源，并在工艺和设备设计中从节能的角度全面衡量各种设施，保证各种余热达到充分的综合利用。

4）选用涂料时，应首先考虑满足涂层质量要求，如果忽视质量，一味追求经济效果，则会失去竞争能力；在保证质量的前提下，优先选用低温快干涂料，以节省能源。

5）新设计的涂装车间操作工位环境应符合劳动保护条例和涂装工艺要求，并应具备涂装三废的防止措施。

6）车间中所采取的劳动保护、防腐、防火、防毒、防爆及安全卫生等措施要符合要求。

7）本车间与其他车间在总平面图上的位置合理，力求使它们之间输送管线最短，联系最方便。

8）在新设计场合要考虑到发展改造的可能性，涂装设备应有较高的适应性。

9）考虑建厂地区的气象、地址、水文等条件。

### 12.1.6　涂装车间的布置设计要求有哪些？

1）车间之间的关系及在总平面图上的位置。

2）车间布置是为生产服务，必须满足生产工艺要求。

3）车间布置设计不仅涉及工艺因素，并和其他非工艺因素有密切关系。因此，在考虑工艺本身的要求外，同时必须了解其他各专业的要求。

4）保证经济效益，做到车间经济指标先进，节省基本建设投资。

5）有效利用车间建筑面积和土地，要特别注意考虑设备露天化设计。

6）考虑车间今后发展的可能性，考虑工厂扩建问题。

7）考虑车间中劳动保护、安全技术和防火、防爆、防腐蚀措施。

8）符合建厂地区的气象、地质和水文等条件。

### 12.1.7　涂装车间的布置设计程序是什么？

（1）初步设计　主要是进行工艺设计、设备选型与计算。包括生产、生产辅助、生产行政设施的空间布置，决定车间场地与建筑物、构筑物的大小，设备的空间（水平和垂直方向）布置，通道系统、物料运输设计，安装、操作、维修所需的空间设计及其他方面的设计。

（2）车间布置施工图设计　是对初步设计项目进一步具体化，做出施工图。包括落实车间布置（初）的内容，绘制设备管口及仪表位置的详图，进行物料与设备移动运输设计，确定与设备安装有关的建筑与结构尺寸，确定设备安装方案，安排管道、仪表、电气管路的走向，确定管廊位置。最后绘制车间布置平面、立面图。

### 12.1.8　涂装车间布置的步骤和方法是什么？

1）根据工艺要求与土建专业共同拟订各车间的结构形式、柱距、跨度、层高、间隔等初步方案，并画成 1∶100 比例的车间建筑平面图。

2）认真考虑设备布置原则，应满足各方面的要求。

3）将确定的设备按其数量的多少及最大的外形尺寸剪成相同比例的硬纸块，并标注设备的名称。

4）将这些设备的硬纸块按工艺流程布置在相同比例的车间建筑平面图上，布置形式可多种多样，一般制订 2 ~ 3 个方案，以便加以比较。经过多方面的比较，选择一个

最佳方案，绘成设备布置草图。

5）根据设备布置草图，结合设备布置应考虑因素进行修改。

6）设备布置草图经修改后，要广泛征集意见，进行必要的调整，提交建筑人员设计建筑图。

7）工艺设计人员在取得建筑设计图后，根据设备布置草图绘制正式的设备平立面布置图。

### 12.1.9　涂装车间工艺设计的阶段与程序分别是什么？

涂装车间工艺设计是工厂基本建设或技术改造的一部分，其阶段与程序必须遵循我国现行的有关基建与技改的法律、法令、政策及规定。但车间的设计阶段与程序不是一成不变的。根据项目的大小、复杂程度、资金来源和主管部门的要求等，可以灵活改变。

当项目较小时，可将可行性研究阶段与初步设计阶段“合二为一”；在设计进程中，有时也会出现程序之间的交叉重叠现象。

涂装工程设计系统图如图 12-1 所示。该系统包含两个方面的内容：设计阶段的划分；设计程序及涂装工艺设计与相关各专业的关系，即使是单独的涂装车间项目也存在这种工作上的配合关系。

### 12.1.10　涂装车间各设计阶段中工作的主要内容是什么？

1. 设计前期工作阶段

设计前期工作包括规划方案、项目建议书和可行性研究报告。涂装工艺设计人员在本阶段的工作内容如下：

1）收集设计原始资料：产品生产纲领；被涂工件产品资料；涂装技术条件、标准；涂装车间现状及存在问题（工艺、设备、人员、厂房、定额、环保和能耗等）；工厂可供涂装车间使用的水、电、燃气和蒸汽等公用动力设置情况。

2）与总图及其他专业反复协商，大致确定涂装车间的总图位置。

3）初步划分涂装工序在全厂生产工艺中的组织形式。

4）选定基本的工艺流程。

5）主要标准生产设备的选用及非标准设备的估算。

6）涂装车间工艺区划图或工艺平面布置图。

7）概略提出土建、公用、动力资料及总图经济设计数据，其中投资、面积、设备、人员四大指标不可缺少。

8）配合项目总设计师编制设计文件。

9）在国内外有关厂家中，调研未落实的工艺及设备问题。

10）配合有关部门编制《环境影响报告书》。

2. 初步设计阶段

1）以有关部门审批的前期工作设计文件和总设计师制定的设计要则为依据，分析、落实、补充所收集的原始资料，弄清基本限制条件。

2）确认产品生产纲领及生产性质，对被涂工件的代表产品图样详细分析。

3）落实涂装车间的总图位置。

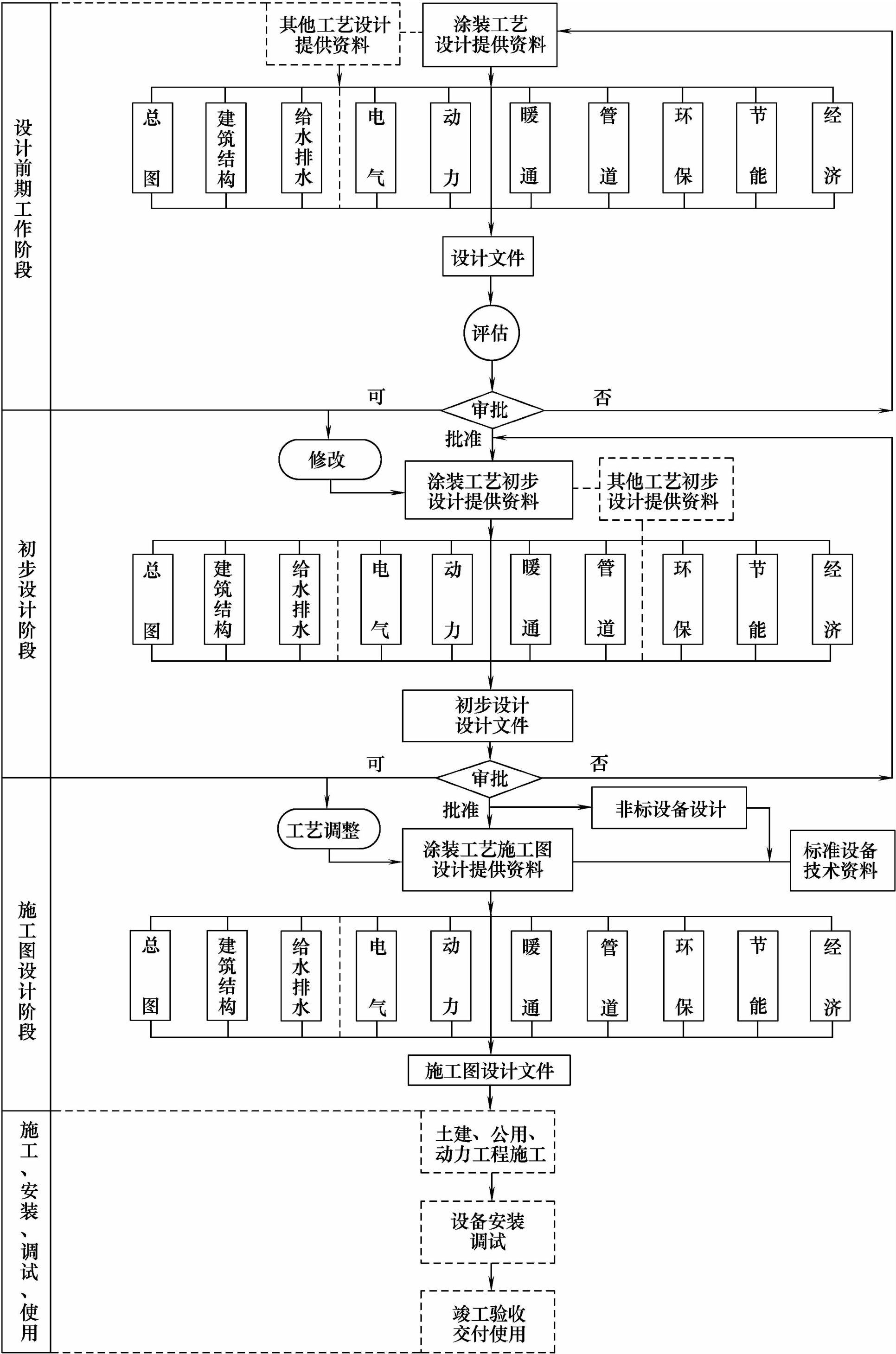



图 12-1　涂装工程设计系统图

4）与有关部门和相关专业共同商定涂装作业的组织形式，以及与其他专业的工艺关系。

5）选择、制定工艺流程，复杂工件需编制工艺过程卡。

6）标准设备的选用及非标设备的计算，编制设备概算明细表。

7）绘制工艺平面布置图，进行多方案比较，并确定最佳方案。

8）为总图、经济、土建、公用和动力等有关专业提出设计资料和设计要求，并配合协调解决设计中的矛盾和问题。

9）编写工艺设计说明书。

10）在施工图设计之前，提出非标设计任务书。

3. 施工图设计阶段

1）根据各有关部门的审查意见，修改初步设计。

2）落实标准设备及非标设备的安装位置尺寸及基础资料等。

3）绘制工艺安装图，编写施工安装说明。

4）提出土建、公用、动力专业施工图设计时所需资料及工艺的要求，并配合解决有关矛盾及问题。

5）根据土建、公用、动力的设计情况，进行管道汇总，并绘制管道汇总图。

另外，在土建、公用、动力工程施工过程中，工艺人员要配合解决有关基础、预留等问题。设备安装调试时，应配合解决有关工艺问题。

### 12.1.11　如何设计涂装车间工艺设计中的生产纲领？

为确定工件通过各车间的路线，应编制专门的明细表（设计中称为车间分工表）。涂装车间生产纲领计算明细表见表 12-4，涂装车间（工段）年产纲领计算明细表见表 12-5。编制这样的明细表，必须有全套图样和材料表，根据详细的车间分工表，按照格式编制进入本涂装车间需涂装的工件和部件的一览表等。

**表 12-4　涂装车间生产纲领计算明细表**

| 产品(部件)名称 | 型号及技术规格 | 年产纲领产品(部件)产量 | 质量/t | | 涂装面积/$m^2$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 每台产品 | 年产纲领 | 每台产品 | 年产纲领 |
| | | | | | | |

**表 12-5　涂装车间（工段）年产纲领计算明细表**

| 零件图号 | 零件或部件名称 | 工艺组编号 | 零件(部件)特征 | | | | 每台产品 | | | 年产纲领 | | | | | | 挂具或小车配套数 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 材料 | 外形尺寸/mm | 质量/kg | 面积/$m^2$ | 数量/件 | 质量/kg | 面积/$m^2$ | 数量(件) | | 质量/t | | 涂装面积/$m^2$ | | 第一工段（喷漆） | | 第二工段（浸漆） | |
| | | | | | | | | | | 基本纲领 | 合计（包括备件） | 基本纲领 | 合计（包括备件） | 基本纲领 | 合计（包括备件） | 每挂具上的零件数 | 全年挂具数 | 每挂具上的零件数 | 全年挂具数 |

### 12.1.12　如何设定涂装车间的工作制度和年时基数?

涂装车间一般采用两班制生产，若车间设备负荷不高，则采用一班制，若大批量生产，则可组织三班制。工人公称年时基数见表 12-6，设备公称年时基数见表 12-7。

**表 12-6　工人公称年时基数**

| 工作环境 | 每周工作日/天 | 全年工作日/天 | 每年工作时间/h | | | | 公称年时基数/h | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 第一班 | 第二班 | 第三班 | | 第一班 | 第二班 | 第三班 | |
| | | | | | 间断性生产 | 连续性生产 | | | 间断性生产 | 连续性生产 |
| 涂装车间 | 5 | 254 | 8 | 8 | 6.6 | 8 | 2032 | 2032 | 1651 | 2032 |

**表 12-7　设备公称年时基数**

| 设备类型 | 工作性质 | 每周工作日/天 | 全年工作日/天 | 每班工作时间/h | | | 设备年时基数/h | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 第一班 | 第二班 | 第三班 | 一班制 | 二班制 | 三班制 |
| 一般涂装及预处理设备 | 间断 | 5 | 254 | 8 | 8 | 6.5 | 1990 | 3860 | 5310 |
| | | 5 | 254 | 6 | 6 | 6 | 1490 | 2930 | 4340 |
| 涂装流水线及涂装自动线 | 间断 | 5 | 254 | 8 | 8 | 6.5 | 1950 | 3820 | 5260 |
| | 短期连续 | 5 | 254 | 8 | 8 | 8 | — | | 5610 |

### 12.1.13　涂装车间的布置设计所需要的基础资料有哪些?

涂装车间设计的设计基础资料（原始资料）是进行涂装车间工艺设计的前提条件，是确定设计原则及设计计算的依据。涂装车间设计基础资料具体包括：

（1）被涂物资料　被涂物的外形尺寸、材质、重量、涂装面积、产品图样和被涂物表面状态，被涂物在涂装过程中的状态（是总成还是零部件）和被涂物清单。在最初设计前，暂无被涂物图样和清单的场合，至少要列出最大件、最重件的名称、质量和外形尺寸。

（2）涂层质量标准和涂装技术要求　涂层标准是涂装车间设计的重要基础资料，是选用材料、确定涂装工艺和确定质量检查验收标准的依据。它一般注明在被涂物图样上或产品技术条件中，或标注出新涂装车间的工艺设计按某企业标准、部颁标准执行。

（3）生产纲领　所谓生产纲领是指被涂物的单位时间内的产量（年产量、月产量、日产量）。对大型的被涂物（如汽车车身）常用生产能力来表示，如日产量或多少台/h。

（4）工作制度和年时基数　涂装车间的工作制度一般应与生产被涂物的车间相适应，但原则上涂装车间以两班制为主，年时基数以年工作日 251 天计。在某些特殊情况下，可根据工厂要求和实际情况对工作制度和年时基数进行调整。

（5）自然条件　包括涂装车间所在地的夏季室外平均气温及最高气温、冬季室外平均气温及最低气温、四季的空气相对湿度、全年主导风向。在风沙（或灰尘）较大

的地区，还包括大气含尘量。

（6）动能能源　包括水、电、蒸汽、热水、煤气、燃气、燃油、压缩空气等可供使用量及相应的参数，工业水水质报告。在老厂房改造的场合，应包括各种管网及动力入口等。

（7）厂房条件和工厂状况　在进行老厂房改造的情况下，需有厂区总布置图，车间工艺平面布置图，厂房建筑结构图、立面图及剖面图，厂房柱子及柱网基础图，屋架及屋面图等资料。如果没有相应图样，则必须用文字予以详细说明。

（8）地方法规　三废排放的环保法规、安全卫生及消防法规。如果当地没有特殊规定，可采用国家标准。

### 12.1.14　涂装车间总平面设计的原则是什么？

1）尽可能将涂装车间设置在独立的建筑物内。厂房周围有可用的辅助面积以便于防火，便于供排气装置和循环水池等附属设施的布置。

2）在多跨联合厂房内，涂装车间（工段）应设置在边跨，在多层厂房内应尽量考虑布置在最高层和底层，不宜布置在中间层。

3）与铸造车间、锅炉房、煤场应尽量拉开距离，且不要布置在主导风向的下风向，以减少粉尘对涂膜质量的影响。

4）应尽量避开生活区或办公楼，尽量避免噪声和有毒气体对人们工作生活产生严重影响。

5）应将涂装车间布置在工厂主导风向的下风向，以防止有害气体影响其他车间。

6）上下工序相互连贯的车间（如焊接、装配等），应选择最短距离，以减少运输量。

### 12.1.15　涂装车间平面布置图有哪些组成部分？

1）厂房建筑平面图，包括厂房边墙轮廓线、窗户位置、门位置、楼梯位置、柱网（间距和编号）、各层相对标高、地坑位置等。车间布置图的比例尺一般为 1∶100。

2）各部分剖面图，组成除了含有上述尺寸外，还包括设备外形尺寸的侧视图。

3）设备外形的俯视图，包括管口、支座、支架。

4）设备定位尺寸和尺寸线，设备位号及名称。

5）操作平台等辅助设施示意图和主要尺寸。

6）地坑的位置和尺寸。

7）辅助房间和行政-福利室内的设备、器具等的示意图和尺寸。

8）附加的文字设计说明。

9）会签。

### 12.1.16　涂装车间平面布置方法是什么？

1）准备资料。

2）确定各工段的布置形式：露天布置或室内布置。

3）流程式布置：按流程顺序在中心管廊两侧依次布置各个工段；各个工段分别组成一块块长方形区域。

4）车间组成：用长方形区域组成整个车间。

5）道路布置。

### 12.1.17　涂装车间平面布置方案有哪些？

1）直通管廊长条布置。

2）T 形、L 形布置，如图 12-2 所示。

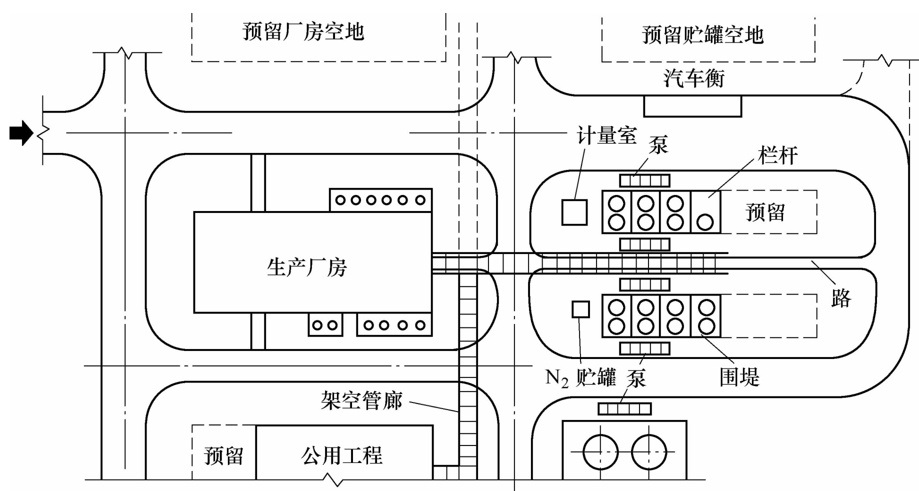



图 12-2　T 形、L 形厂房平面

3）复杂车间的平面布置，即直线型、T 形和 L 形组合。

### 12.1.18　涂装车间厂房有哪些基本组成部分？

（1）生产设施　包括生产工段、原料和产品仓库、配漆室、控制等。

（2）辅助设施　包括通风、配电、机修、化验室等。

（3）生活行政设施　包括车间办公室、更衣室、浴室、休息室及厕所等。

（4）车间通道　人流、货流和安全通道等。

（5）近期的发展余地　即考虑近期的发展需增加的部分设备。

### 12.1.19　如何布置涂装车间的厂房？

1. 整体布置

根据生产规模和生产特点及厂区面积、厂区地形、地质等条件，考虑厂房的整体布置，采用分离式或集中式，即将车间各工段及辅助房间分散在单独的厂房内或集中合并在一个厂房内。

一般来说，凡生产规模较大，车间各工段生产特点有显著差异（如防火等级等），厂区面积较大、山区等情况下，可适当考虑分离式。

对于生产规模较小，车间各工段联系频繁，生产特点无显著差异，厂区面积较小，厂区地势平坦的情况，可适当采用集中式。

2. 平面布置

化工厂厂房的平面布置是根据生产工艺条件（包括工艺流程、生产特点、生产规

模等）及建筑本身的可能性与合理性（包括建筑形式、结构方案、施工条件和经济条件等）综合考虑的。

厂房的平面设计应力求简单。这会给设备布置带来更多的可变性和灵活性，同时给建筑的定型化创造有利条件。

3. 立面布置

化工厂厂房的立面形式有单层与多层之分，或单层与多层相结合的形式。多层厂房占地少但造价高，而单层厂房占地多但造价低。

厂房的立面形式主要根据生产工艺特点抉择，另外也要满足建筑上采光、通风等各方面的要求。厂房立面也同平面一样，应力求简单，要充分利用建筑物的空间，遵守经济合理及便于施工的原则。

### 12.1.20　涂装车间厂房平面设计中有哪些注意事项？

1）厂房平面设计应力求简单。

2）确定柱网布置既要根据设备布置的要求，又要尽可能满足建筑模数的要求。

3）多层厂房宽度不要超过 24m，单层厂房宽度不要超过 30m。常见工业厂房的柱网示意图如图 12-3 所示。

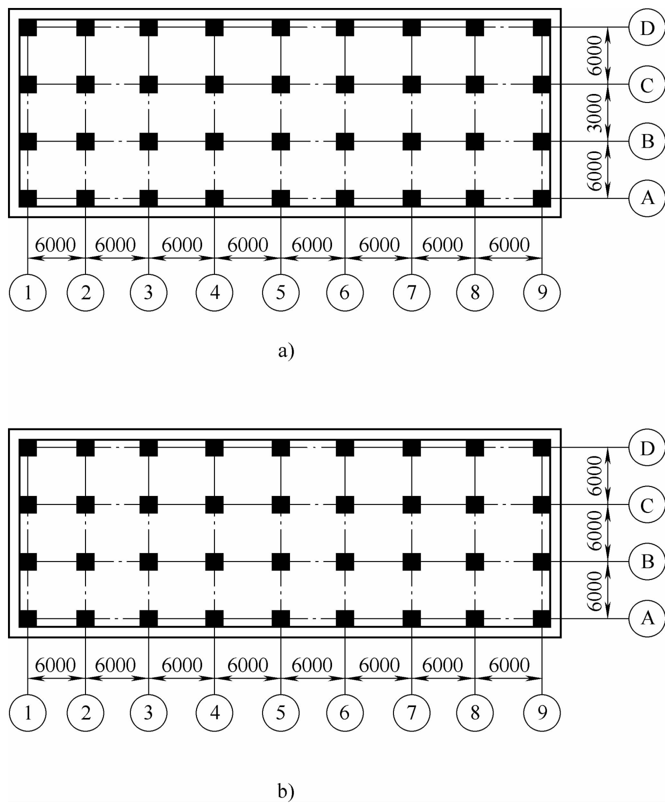



图 12-3　常见工业厂房的柱网示意图

a）内廊式柱网　b）方格式柱网

4）厂房的立面布置有单层、多层或单层与多层结合的形式，根据生产工艺特点选择。常见厂房的剖面形式如图 12-4 所示。

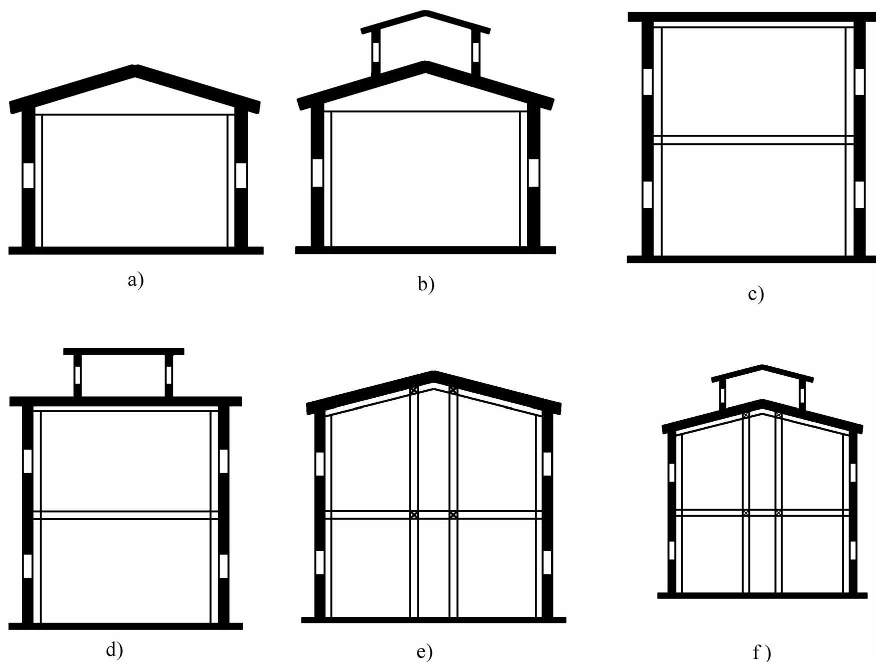



图 12-4　常见厂房的剖面形式

a）单层厂房　b）有天窗的单层厂房　c）多层厂房　d）有天窗的多层厂房
e）有内走廊的多层厂房　f）有内走廊及天窗的多层厂房

5）高度取决于设备的高度、安装位置与安装条件。

6）一般高度 4 ~ 6m，最低不得低于 3. 2m。

7）净空高不得低于 2. 6m。

8）尽量符合建筑模数要求。

### 12. 1. 21　涂装车间厂房的平面形式有哪些?

对涂装车间来说，多数情况是长方形，这样设备布置弹性大，有利日后发展，也有利于自然采光和通风。

连续流水线，工作面积有关设备一般是直线布置成几个行程；间歇式流水线工作面绝大多数是布置一条或几条平行线。

### 12. 1. 22　如何确定涂装厂房柱网的布置和厂房宽度?

一般多层厂房采用 6m × 6m 的柱网。如果柱网的跨度因生产及设备要求必须加大时，一般不适宜超过 12m。

多层厂房的总宽度由于受到自然采光和通风的限制，一般不应超过 24m。单层厂房的总宽度，一般不超过 30m。

常用的厂房总跨度一般有 6m、9m、12m、16m、18m、24m、30m 等数种。主要根

据工艺、设备、自然采光和通风及建筑造价来确定。

一般有机化工车间，其宽度常为 2 ~ 3 个柱网跨度，其长度则根据生产规模及工艺要求决定，但应注意尽量使长度符合建筑模数的要求。

### 12.1.23　如何确定涂装厂房高度？

厂房每层高度主要取决于设备的高度、设备安装起吊检修拆卸时所需要的高度等条件。一般生产厂房每层高度采用 4 ~ 6m。最低层高不宜低于 3.2m。由地面到顶棚凸出构件底面的高度（净空高度）不得低于 2.6m。多层厂房层高多采用 5.1m 和 6m，最低不得低于 4.5m。

有高位及有毒气体的厂房中，要适当加高建筑物的层高，以利于通风散热。厂房的高度也要尽可能符合建筑模数的要求，取 0.3 的倍数。各层高度尽量相同，不宜过多变化。

化工厂厂房的剖面由于生产性质不同，形式也是不同。

### 12.1.24　如何设计涂装车间厂房的布置草图？

（1）前期准备　厂房布置先从平面布置开始。首先工艺设计人员应对工艺流程、所有设备尺寸、结构及其要求和其他有关资料、厂房各组成要了解透彻，同时要有清晰的立体概念。另外，要和非工艺设计人员交换意见，完善布置设计构思，再动手设计布置草图。

（2）布置步骤　首先按各方面要求，划分生产、辅助生产和生活行政设施的位置，确定厂房宽度和柱距。将厂房平面初估尺寸按一定比例（如 1∶100）绘于图上，再按同样比例，将设备按布置原则绘于图上。先布置好主体设备，再逐一计算每个辅助设备空间和辅助场地，以及其他辅助设施所需场地。同时要确定楼梯、通道占用的位置、面积和空间，以及设备与墙面间的距离。一切考虑妥当后再确定厂房的平面尺寸，完成厂房平面布置草图。

### 12.1.25　涂装车间厂房布置图由哪几个部分组成？

厂房布置图由两个部分组成，平面和剖面图。

厂房平面图应包括：①厂房建筑平面图，标出边墙轮廓线、门窗位置、楼梯位置等；②设备外形俯视图、流程号；③设备定位尺寸；④操作平台等辅助设施示意图，包括主要尺寸和标高；⑤传送悬链的平面位置尺寸；⑥地坑、地沟位置、尺寸和标高，辅助用房位置及尺寸。

厂房剖面图应包括：①建筑剖面图，建筑高度；②设备高度定位尺寸及支撑形式；③传送悬链的标高、定位尺寸及支撑形式；④操作平台标高、定位尺寸；⑤地坑、地沟位置、深度，如设备、悬链、操作台等都应有剖面图。

### 12.1.26　如何进行轿车车身油漆车间的厂房布置设计？

1. 轿车车身油漆车间的平面布置

轿车的涂层技术等级要求很高，需要采用先进的涂漆方法、严格的工艺条件和复杂的涂装工艺来完成。其整个涂装过程和平面布置也相对复杂得多。轿车车身涂装生产线平面布置如图 12-5 所示。

2. 油漆车间的结构

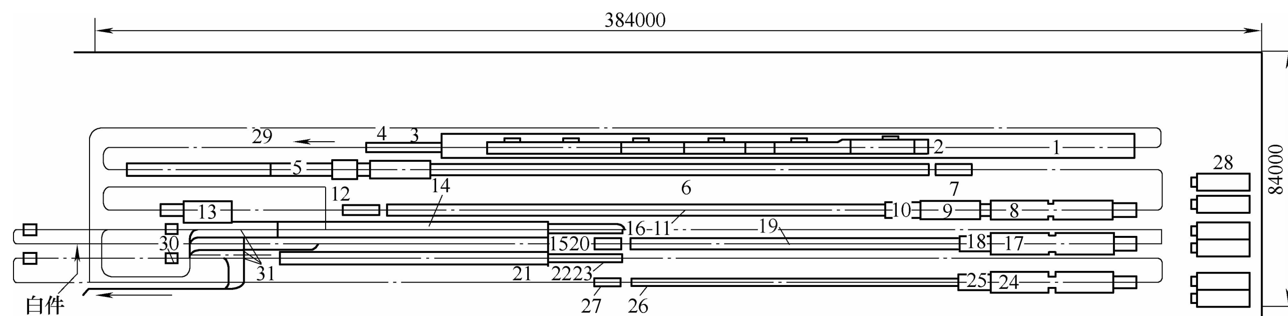



图 12-5 轿车车身涂装生产线平面布置图

1—通道 2—表面准备联合机 3，15，22—去水分烘干室 4，7，12，16，20，23，27—冷却室 5—电泳涂漆装置 6，11，19，26—烘干室 8，9，10—静电喷涂室，补漆和漆液回收室区段 13—漆放声浆室 14，21—湿打磨位置 17，18，24，25—补漆喷涂室，自动喷涂室和回收室区段 28—温湿调节器 29—输送机 30—挂具 31—悬挂输送机上的车身存放处

油漆车间一般分为三层结构，见表 12-8。

表 12-8　油漆车间的结构

| 结构 | 层名称 | 作　　用 |
|---|---|---|
| 上层 | 噪声区 | 为供风、排风空调系统及热回收区 |
| 中层 | 低噪声区 | 布置主要生产设备，像喷涂、烘干及人工作业区等 |
| 底层 | 布置辅助设备 | 像供料、加料、供水、输漆及废水处理等辅助设施 |

3. 平面布置

平面布置时分为三个区：高温区、产尘区、高洁净区。将各区彼此分开，同类放在一起，有利于表面装饰质量的提高和保证。例如，烘干室是高温区，打磨室是产尘区，喷涂室和烘干室要求高洁净度。在平面布置时，考虑到这些因素，则应将喷涂室、烘干室并排放在一个区域，而将打磨室放在远离高洁净区的一端。

### 12. 1. 27　如何进行钢圈油漆工段布置设计？

钢圈需要优质防腐蚀涂层保护，采用沥青底漆和清漆各喷一次、烘一次，涂层总厚度 40μm，作为优质沥青涂层需 200℃高温烘干。

氯醋共聚物的耐蚀性好，物理力学性能优良，干燥温度低，可大大减少涂膜干燥的能耗。因此，该实例采用氯醋共聚物底漆和磁漆（黑色）。其干燥规范为：底漆自干 1h，60℃强制干燥 30min；磁漆自干 2h，60℃强制干燥 1h。

车轮涂层的技术要求不高，涂漆方法和涂装工艺都比较简单。作为轮子的表面预处理，可采用磷化处理，也可采用脱脂清洗-水冲洗三室联合机。该实例采用喷射清洗和水冲洗，缩短生产线长度。该工段的平面图和剖面图如图 12-6 所示。

### 12. 1. 28　如何布置设计调漆间？

调漆间是将原漆按技术条件要求添加适量的溶剂和稀释剂，调至施工粘度，过滤后装入带盖的桶中送往涂装车间或用泵和管道系统连续压送到工位。调漆间常设于原料仓库一端或设在独立的房间内。

调漆间设在建筑物的阴面，室温 15℃左右。电器设备、地面铺设、通风等都应满足安全防火要求。高涂料消耗量最好还是采用自动输漆系统，涂料输送到各喷漆点，并不断循环，提高工作效率，降低材料损失，不断低过滤和调整粘度，确保涂膜质量。

在涂装车间的调漆间一般只贮存当班用量的油漆。对于独立建筑物，规定的涂料库存量为 5 ~ 7 天，溶剂建地下贮罐贮存。

若用漆量不多，可领取漆料在现场调配，不设调漆间。

### 12. 1. 29　涂漆区布置设计有什么要求？

1）整个厂房划为涂漆区，厂房通向露天的门、窗外，垂直和水平距离 3m 以内的空间可划为二级区。

2）与涂漆区相邻厂房之间的隔墙应为密实坚固的非燃烧实体，隔墙上的门也应是坚固的非燃烧材料，且有密封措施和自动关闭装置。如只有一道有门隔墙，门外水平距离 7. 5m 以内为二级区域。

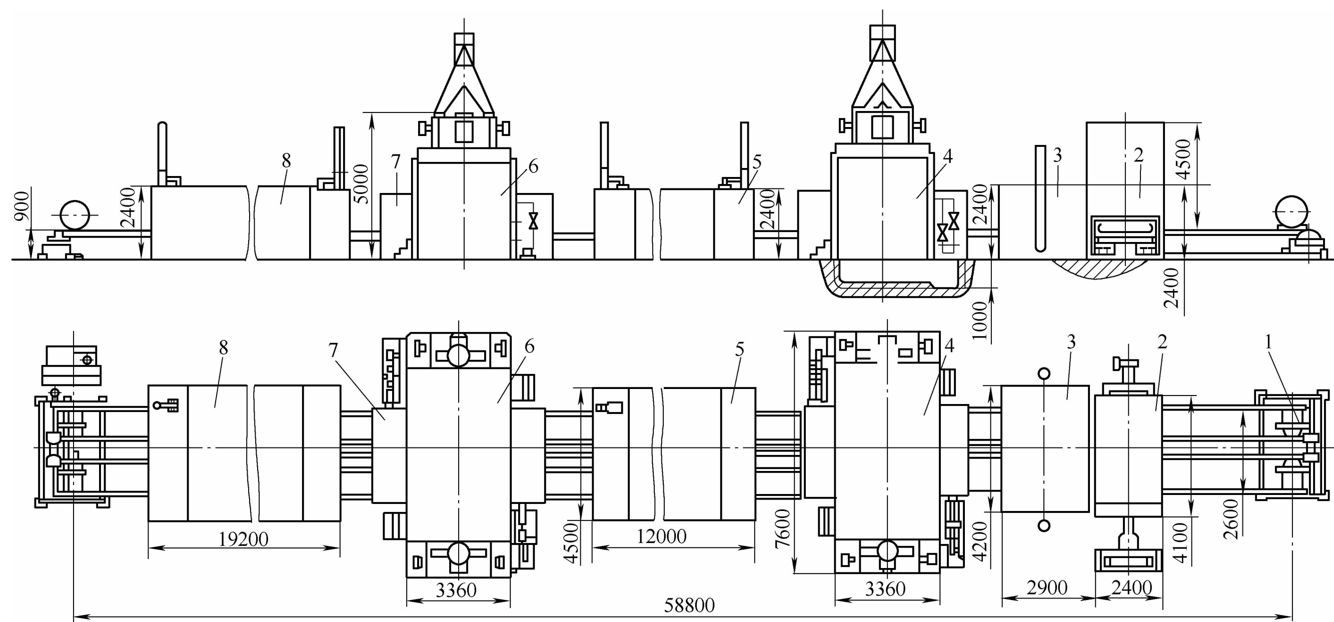



图 12-6　车轮涂装工段的平面图和剖面图

1—周期运动的地面输送机　2—表面准备联合机　3—用于烘干水分的对流烘干室　4，6—自动喷涂室

5，8—蒸汽加热对流烘干室　7—门斗

3）涂漆区内电气设备及其他设备表面最高温度，应符合《爆炸危险场所安全规程》中的要求。

4）涂漆区内的电气设备、管线、容器都按照《爆炸危险场所安全规程》中的要求，分别实施有效的接地。

5）涂漆区入口处及其他禁止明火和产生火花的场所，应根据 GB 2893—2008、GB 2894—2008 的规定，设置安全色、安全标志和禁止烟火的标志，立放在容易看见的地方。

6）涂漆区附近应放置足够数量的消防器材，并定期检查，保持有效状态。

7）涂漆室应设置完善的安全疏散设施。安全出口一般不应少于 2 个。涂漆室面积不超过 100 平方米，且生产人数不超过 5 人的，可设一个安全出口。

### 12. 1. 30　如何确定涂漆室的防火间距？

涂漆室及其构筑物的防火间距见表 12-9。

**表 12-9　涂漆室及其构筑物的防火间距**

| 名称 | | | 防火间距/m | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 涂漆室（甲类生产） | 其他涂装厂房耐火等级 | | |
| | | | | 一、二级 | 三级 | 四级 |
| 明火、散发火花地点 | | | 30 | | | |
| 重要公共建筑 | | | 50 | | | |
| 民用建筑物 | 耐火等级 | 一级、二级 | 25 | 10 | 12 | 14 |
| | | 三级 | 25 | 12 | 14 | 16 |
| | | 四级 | 25 | 14 | 16 | 18 |
| 厂外铁路（中心线） | | | 30 | | | |
| 厂内铁路（中心线） | | | 20 | | | |
| 厂外道路（路边） | | | 15 | | | |
| 厂内主要道路（路边） | | | 10 | | | |
| 厂内次要道路（路边） | | | 5 | | | |
| 主变压器 | | | 25 | | | |

### 12. 1. 31　如何布置涂漆室的防火墙？

为考虑生产工艺的连续性，涂漆室若布置在分段装配车间内部而和其他生产场地的间距不能满足表 12-9 要求时，可采用防火墙，防火带等防火分隔措施，其要求如下：

1）防火墙应用非燃烧体材料构成，其耐火极限不应低于 4h。防火墙应高出屋面 40 ~50cm。一般不宜开设孔道、窗口，不宜有管线穿道。如必须开窗和通过管道和线路时，应用非燃烧材料将穿墙孔隙紧密填塞。

2）防火带的宽度不应小于 6m，高出屋面 0. 7m，防火带内全部建筑物为非燃烧材料构成，不准堆放可燃材料及搭棚。

### 12.1.32　如何设置涂漆室的泄压面积？

涂漆室应设置必要的泄压面积，泄压面积与厂房体积的比值（$m^2/m^3$），一般不得小于 0.15，大于 $1000m^3$ 的厂房，此比值可适当降低，但不得小于 0.05，具体要求如下：

1）充当泄压面积的建筑构件要用轻质材料，其自重应小于 $100kg/m^3$。

2）泄压用的门窗要布置成向外开，翻窗的中心线应偏向上半部。

3）泄压面积应均匀地布置在可能爆炸的部位，不可面对人员密集处和主要交通要道，否则，外侧应加设保护槽板。

### 12.1.33　喷涂室有哪些类型？

喷涂室一般应具有带工件进出口的间壁、照明、供风系统、排风系统及漆雾捕集装置等。根据涂装质量的要求不同，对喷涂室的要求也不同。喷涂室的分类、工件输送方式、特点及使用范围见表 12-10。

表 12-10　喷涂室的分类

| 名称 | 示意图 | 运输工具 | 特点 | 使用范围 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 工作性质 | 工作特征 |
| 干式 | | 多种形式 | 横向抽风，干式过滤器 | 间隙 | 喷漆量小的各种工件，单件或小批生产 |
| 台式 | | 转盘 | 横向抽风，采用干式或水帘等式处理漆雾 | 间隙 | 各种形状的小型工件 |
| 台移动式 | | 带工作台小车 | 横向抽风，采用干式、水帘式或其他方式处理漆雾 | 间隙 | 各种形状的小型、中型工件 |
| 敞开式 | | 台车 | 底部抽风或上送下抽风，采用水洗式处理漆雾 | 间隙 | 大型工件，单件或小批生产 |
| 移动式 | | 工件不动 | 喷漆室移动，单面或双面喷漆，纵向抽风 | 间隙 | 形状简单的大型重型工件，单件或小批生产 |

（续）

| 名称 | 示意图 | 运输工具 | 特点 | 使用范围 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 工作性质 | 工作特征 |
| 文式 | | 悬挂输送机等 | 上送下抽风式，采用文丘里原理处理漆雾，室内空气可调 | 连续 | 复杂外形的大型工件，成批流水生产 |
| 悬挂式 | | 单轨、挂钩 | 横向抽风，采用干式或水帘等式处理漆雾 | 间隙 | 各种形状的小型、中型工件 |
| 水帘式 | | 悬挂输送机等 | 横向抽风，采用水帘式处理漆雾 | 连续 | 小型或部分中型工件，成批生产 |
| 水洗式 | | 悬挂输送机等 | 上部送风或横向抽风，采用喷水处理漆雾，工件连续移动 | 连续 | 各种外形的中、小型工件，成批生产 |
| 水旋式 | | 地面输送机等 | 上送下抽风式，采用水旋器漆雾，室内空气可调 | 连续 | 复杂外形的大型工件、漆膜质量要求高的工件，成批生产 |

注：表中所列为主要类型，由于送风方式、运输工具和漆雾处理方式不同组合而形成的各种派生类型不在本表的范围。实际应用中应根据实际情况选择。

### 12.1.34　干式喷涂室的基本原理是什么？

常见的干式喷涂室结构如图 12-7 所示。图 12-8 为属于干式喷涂室的一种喷烘两用的喷涂烤漆房，它适用于批量小且各种要求较高的大型设备及汽车修补涂装用。该喷涂室可进行喷涂，在喷涂以后又可变成低温烘干室，直接对被涂物进行烘干。

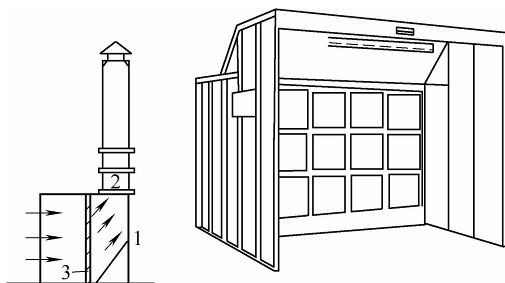



图 12-7　干式喷涂室
1—室体　2—排风装置　3—漆雾处理装置

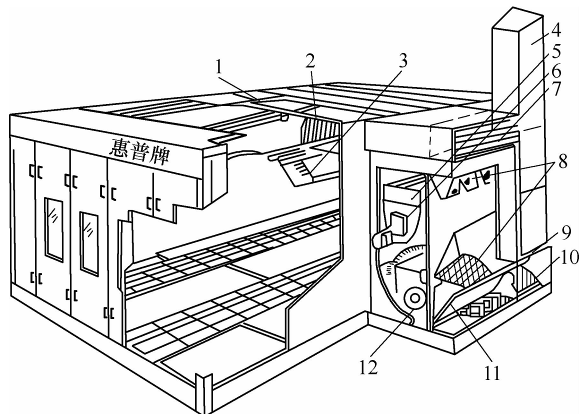



图 12-8　喷烘两用的喷涂烤漆房
1—温度传感器　2—顶部过滤棉　3—日光灯　4—排气口　5—热力交换器　6—柴油燃烧器　7—空气进气口　8—进气过滤网　9—风门电动执行器（用于中型、大型）　10—废气净化过滤器　11—风门（用于中型、大型）　12—风机

### 12.1.35　干式喷涂室有什么特点?

1. 优点

1）构造简单，适用于小批量涂装。

2）捕集的废漆容易处理。

3）不使用水，无需废水处理。

2. 缺点

1）不适用于大批量涂装。

2）捕集废漆装置用人工处理，产量大时，更换频繁。

3）喷涂室及排风机、风管需要经常清理，否则有可能自燃起火。

4）过滤网等易耗品用量大。

### 12.1.36　湿式喷涂室的基本原理及结构是什么?

湿式喷涂室的工作原理如图 12-9 所示。侧抽风喷涂室的结构如图 12-10 所示。上供风下抽风大型喷涂室的结构如图 12-11 所示。

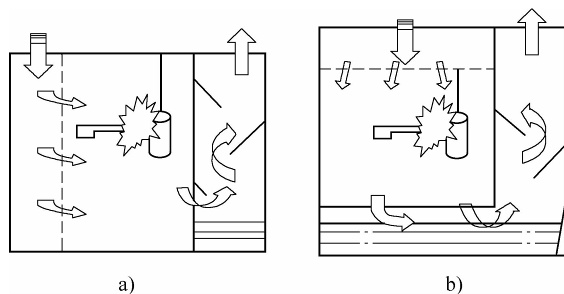



图 12-9　湿式喷涂室的工作原理

a）侧抽风型喷涂室　b）底抽风型喷涂室

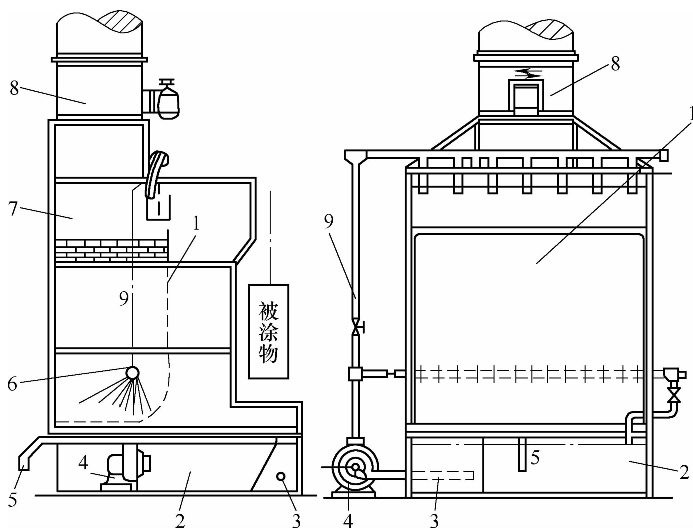



图 12-10　侧抽风喷涂室

1—水幕　2—水槽　3—吸水管　4—离心泵　5—溢流口　6—喷射水洗

7—分离器　8—排风机　9—扬水管

## 12.1.37　湿式喷涂室有什么特点?

1. 优点

1）适用于连续性的大批量涂装。

2）因为使用水，火灾危险性小。

3）喷涂室内打扫次数比干式喷涂室少。

4）喷涂室内尘埃少，能获得优质的涂层。

2. 缺点

1）因为使用水，需进行废水处理，占地面积大。

2）设备投资和运行费用较干式喷涂室高。

## 12.1.38　喷涂室空调供风系统是什么结构?

为了保证喷涂的质量和喷涂操作人员的工作条件，一般涂层要求较高的产品涂装喷

涂室均具备空调送风系统，以保证送往喷涂室的空气温度（15 以上）、恒湿（60% ~ 70% RH）、无尘。典型的喷涂室的空调供风系统如图 12-12 所示。高档喷涂室在喷涂室顶部静压室内还有 1 ~ 2 级高效或亚高效过滤网，可使空调系统送来的空气再次过滤，达到 3 网以上的尘粒 95% 以上被除去。喷涂室供风量应略大于排风量，以维持喷涂室内相对于车间为正压，以免车间内的灰尘进入喷涂室内。

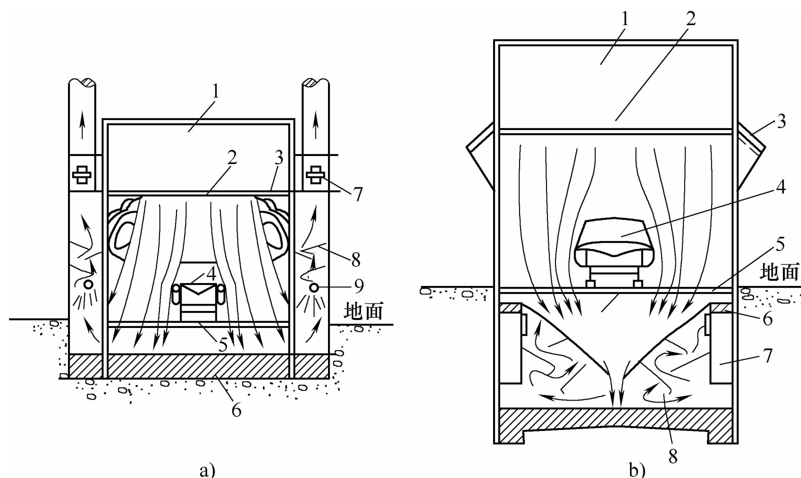



图 12-11　上供风下抽风大型喷涂室

a）喷射水洗型　b）文丘里型

1—供风室　2—过滤层　3—照明灯　4—被涂物　5—栅格板　6—水槽

7—排风机和排风管　8—折流板　9—喷嘴

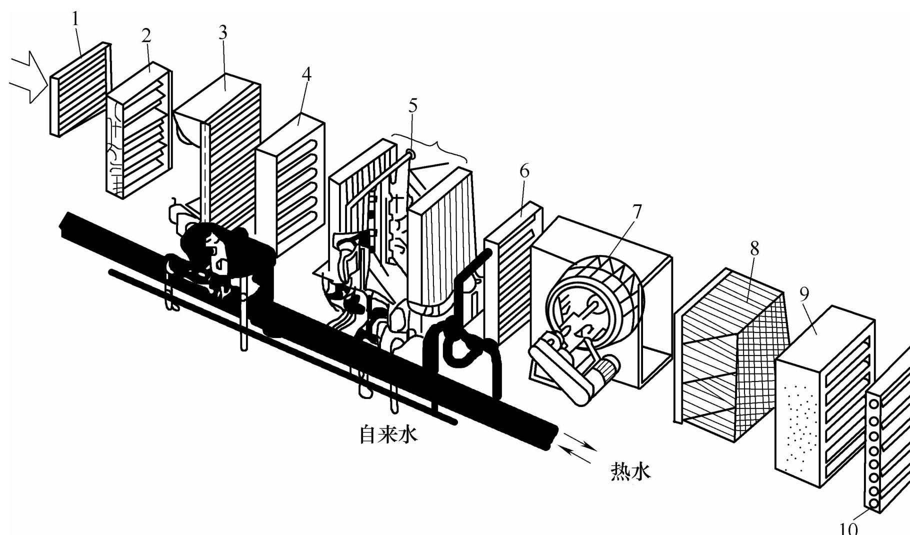



图 12-12　空调供风系统

1—防鸟栅栏（进风口）　2—吸风调节百叶窗　3—预过滤器　4—预加热器　5—水洗段及挡水板　6—后加热器　7—风机　8—后过滤器　9—消声器　10—控制百叶窗

## 12.1.39　排风洗涤装置的喷涂室有什么特点？

排风洗涤装置的喷涂室的特点见表 12-11。

**表 12-11　排风洗涤装置的喷涂室的特点**

| 项目 \ 喷涂室及其类型 | | 干式 | 湿式 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 侧抽风式 | | | 上送风下抽风式 | |
| | | 干式喷涂室 | 水幕式喷涂室 | 无泵型喷涂室 | 文丘里型喷涂室 | 旋风动力管型喷涂室 |
| 除尘率 | | 90%～95%条件：正确地选择过滤器，并正常地进行更换 | 80%～90%条件：喷嘴无堵塞充分满足水和空气比，喷雾均匀 | 98%～99%条件：液面正常 | 97%～98%条件：水幕不中断，地面无异物 | 98%～99% |
| 维护 | 内容 | 根据过滤器前后压差更换过滤材料 | 泵、配管、喷嘴、过滤器、分离器等检查与清理 | 确认自动液面控制器的工作状态及槽液管理（pH 值检查、加入药品） | 泵、配管、过滤器等检查与清理 | |
| 维护 | 影响 | 直接影响风机性能（风量、气流），到一定程度风量会严重下降 | 直接影响洗净效率、喷嘴堵塞和部分效率严重下降 | 液面状态影响性能，运行中要经常调整 | 除水量碱少外几乎没有影响，水床面及文丘里管内存在异物有影响 | 水床面上的水膜要厚，异物影响则小 |
| 保养 | 检修频率（参考） | 根据涂料及涂装量约每周更换一次 | 喷嘴检查与清理每日一次，管路清理每月一次 | pH 值检验每天一次，淤渣清理每年一次，浮物清理每天一次 | 过滤器以外的水槽及风道每年检修一次 | |
| 保养 | 日常维护的难易程度 | 简易（更换过滤器） | 费工夫（正常保养困难） | 简单（仅液面管理） | 简单 | |
| 性能的稳定性 | | 稳定性差 | 不稳定（维持困难） | 稳定 | 在大容量场合下也稳定 | 非常稳定 |
| 运转动力 | | 不用水泵<br>风机压力为 25～30mmHg①<br>风机动力为 0.75～1.5kW/m② | 喷射压力为 0.15MPa<br>水量为 300～350L/(min·m)<br>动力为 3～4kW/m<br>风机压力为 30～40mmHg①<br>风机动力为 1.5～3.0kW/m | 不用水泵<br>风机压力为 100mmHg①<br>风机动力为 2.2～4.5kW/m | 水喷出压力为 0.05MPa<br>水量为 450～500L/(min·m)<br>动力为 3～4kW/m<br>风机压力为 120～130mmHg①<br>风机动力为 6kW/m | 水喷出压力为 0.05MPa<br>水量为 300L/(min·m)<br>动力为 2.5～3.5kW/m<br>风机压力为 130～140mmHg①<br>风机动力为 6kW/m |

（续）

| 项目＼喷涂室及其类型 | 干式 | 湿式 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 侧抽风式 | | 上送风下抽风式 | |
| | 干式喷涂室 | 水幕式喷涂室 | 无泵型喷涂室 | 文丘里型喷涂室 | 旋风动力管型喷涂室 |
| 至作业地面的高度/mm | 不要 | 600～700 | 600 | 3000～3500 | 2000～2500 |
| 安装宽度/mm | 有效宽度+600 | 有效宽度+600（单侧） | 有效宽度+720（单侧） | 有效宽度+框架宽度 | 有效宽度+框架宽度 |
| 气流分布 | 由于过滤器的阻力，而使风量变动，气流状态过快不好 | 由于侧面下方排风，气流随喷涂室的形状及送风方式而变化 | | 空气从地面中心吸入，不产生涡流现象，气流状态良好，室内墙壁污染和着色小 | |
| 特征 | 适用于涂料用量少的小型简易喷涂室，净化空气能力有限，不注意更换风量便急剧下降 | 是最早使用的大型喷涂室，性能不稳定，维护困难，适用于中小型涂装室 | 适用于涂料消耗量不大的涂装室。在涂料用量大的场合，需要另设涂料分离槽 | 适用于涂料用量大的汽车涂装生产线等大型涂装室 | |

注：水、空气比是对 1$m^3$ 空气的用水量。喷射水洗的水空比为 1.2～2.0，就是水量为 1.2～2.0L，也就是 1$m^3$ 空气需用水质量为 1.2～2kg。

① 1mmHg＝133.322Pa。

② 喷涂室长度。

### 12.1.40　如何确定喷涂室给排风系统中的风速？

为了排除喷涂室喷涂中过喷的漆雾，喷涂室必须有配套的给排风系统，在喷涂室中形成一定的风速，将漆雾带走。不同喷涂区的风速见表 12-12。

**表 12-12　不同喷涂区域的风速**

| 喷　涂　区　域 | 风速(m/s) |
|---|---|
| 手工喷涂室 | 0.4～0.6 |
| 自动静电喷涂区 | 0.25～0.3 |
| 喷涂室前后的擦净间和晾干间 | 0.2～0.3 |

各区段的风速由各区段的截面积和给排风量来决定，其计算公式如下

$$V=\frac{Q}{S}$$

式中　$V$——风速（m/s）；

$Q$——供风量（$m^3/s$）；

$S$——区段截面积（$m^2$）。

喷涂室内送风装置结构如图 12-13 所示。

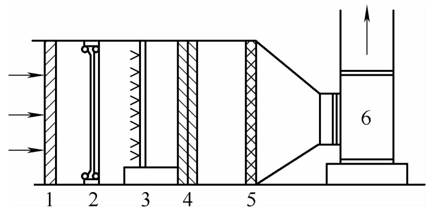



图 12-13　送风装置结构

1—吸入口风道　2—转动过滤器　3—喷水洗　4—水滴分离器　5—加热管　6—送风机

### 12.1.41　排风和漆雾捕集系统是什么结构?

排风和漆雾捕集系统由漆雾的捕集装置、排风风机及风管等组成。典型的排风和漆雾捕集装置如图 12-14 和图 12-15 所示。

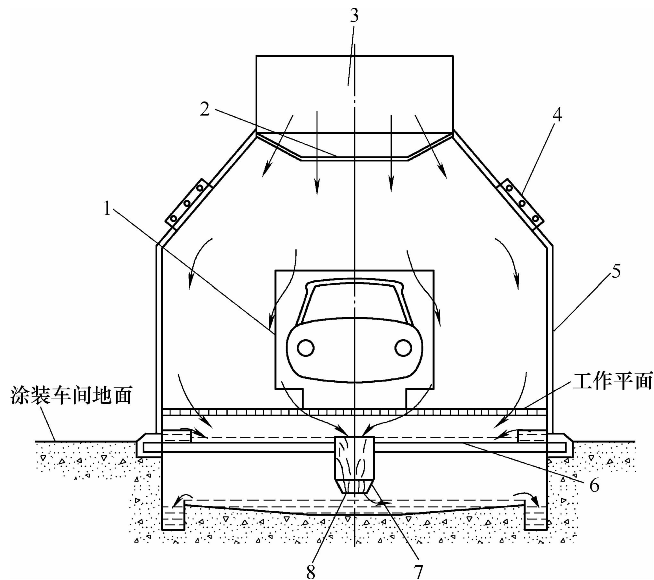



图 12-14　Hydrospin 喷涂室的排风和漆雾捕集装置

1—排风机　2—空气过滤分散顶板　3—供风管　4—照明装置　5—玻璃壁板　6—溢水辅助底板　7—动力清洗管　8—挡板

喷涂室配套的废漆清除装置如图 12-16 所示。

该设备可将漆雾捕集装置捕集的废漆渣自动地清除出去。所用的循环水中加有废漆凝聚剂，以使漆渣失去粘性，便于除去。

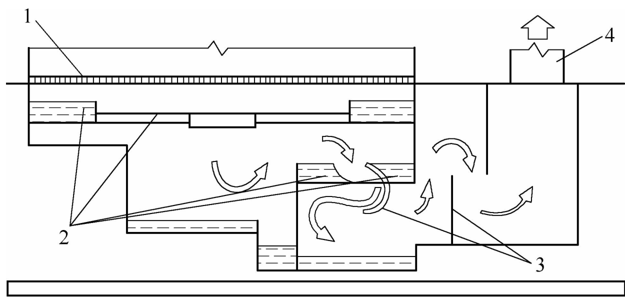



图 12-15　日本大气社的双圆环形排风洗涤装置

1—喷涂室格栅底板　2—淌水槽　3—折流板　4—排风筒

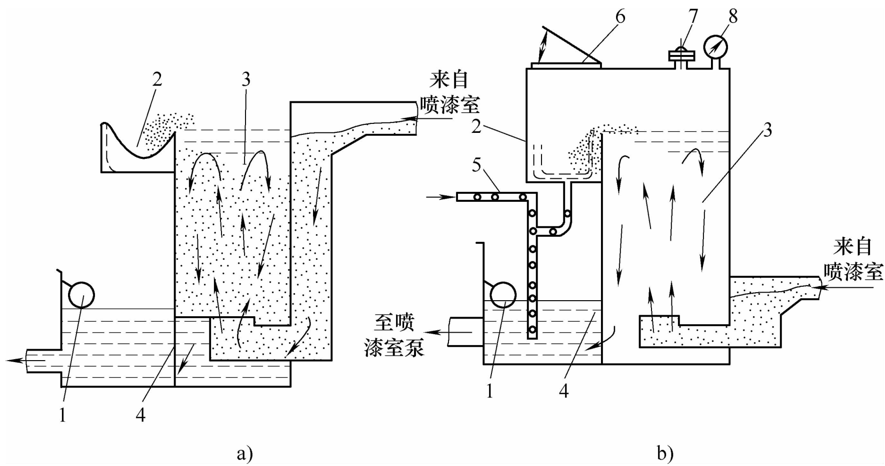



图 12-16　废漆清除装置

a）常压式　b）真空式

1—水位控制罐　2—收集器　3—蓄水池　4—闸门　5—水力喷射管

6—盖子　7—真空控制件　8—真空压力表

### 12.1.42　烘干室有哪些类型？

烘干室按照形状分为通过式烘干室和间歇式烘干室。通过式烘干室适用于自动化生产线，干燥时，工件在设备中连续运动，设备可绵延数十米，如图 12-17 所示。间歇式烘干室适用于生产规模较小的情况，工件在设备中不连续运动或运动较为缓慢，属于非流水式涂装作业。

按照加热方式不同，分为辐射式烘干室和对流式烘干室。辐射式烘干室是用辐射方式加热被涂物，如远红外线烘干室、紫外线烘干室等。对流式烘干室用热源产生的燃烧气体或加热后的高温空气在烘干室内循环，使被涂物对流受热。该类烘干室还可分为直接燃烧加热型和使用热交换器间接燃烧加热型两种。

按照用途不同，分为脱水烘干室、底漆烘干室、腻子烘干室等。

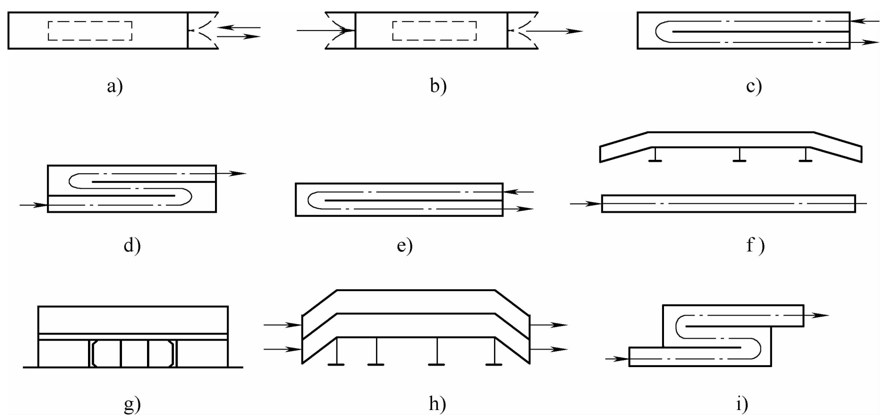



图 12-17　通过式烘干室

a）死端式　b）直通式　c）双行程直通式　d）多行程直通式　e）双行程半桥式
f）桥式　g）矩形桥式　h）双层桥式　i）多行程桥式

### 12.1.43　布置烘干室时有哪些注意事项?

（1）热源的选择　烘干室内固化设备可选择的热源种类很多，常用热源有蒸汽、电能、柴油、煤油、天然气、液化气等。热源的选择受所需固化涂料的温度、涂层的质量要求，当地的能源政策及综合经济效果等因素的限制。常用热源的使用范围见表 12-13。

**表 12-13　常用热源的使用范围**

| 热源种类 | 常用的固化温度/℃ | 适用范围 | 主要特点 |
|---|---|---|---|
| 蒸汽 | <100 | 脱水烘干、预热、自干和低温烘干型涂料的固化 | 可靠的使用温度 <90℃。热源的运行成本较低，系统控制简单 |
| 燃气 | <220 | 直接燃烧适用于装饰性要求不高的涂层，间接加热适用于大多数涂料的固化 | 热源的运行成本较低，但系统的投资相对较高。系统控制及管理要求较高 |
| 燃油 | <220 | 直接燃烧适用于装饰性要求不高的涂层，间接加热适用于大多数涂料的固化 | 热源的运行成本较低，但系统的投资相对较高。系统控制及管理要求较高 |
| 电能 | <200 | 适用于大多数涂料的固化 | 运行环境清洁，控制精度高，维护保养方便。运行成本相对较高 |
| 热油 | <200 | 适用于大多数涂料的固化 | 使用不普遍。运行成本较低。系统投资较高，系统控制及管理要求较高 |

（2）烘干室的形状　确定烘干室形状时，在满足工艺布局需要的前提下，应尽可能考虑节省能耗、缩小烘干室有效烘干区的温差、减少占地面积、节约设备的用材、方便设备的安装运输及设备将来改造扩建的可能性。

### 12.1.44　如何进行化学品储存间和化验室的布置设计？

（1）化学品储存间　车间内的化学品储存间主要为储漆间和预处理药剂堆放间，通常储漆间安排在调漆室旁边的隔离间，为了车间的安全，在储漆间或化学品储存间内的涂料材料及预处理药剂的储存量不应超过 1～2 班的正常生产耗量，故可根据上述依据相应布置，并设置气体灭火设备及报警信号。

（2）化验室　涂装车间应配备一个常规检验的化验室，用于检查送往涂漆工位的涂料质量。化验室应根据涂装工艺特性装备相应的检测仪器。车间化验室的面积一般为 $13\sim30\text{m}^2$，有 1～3 个化验员。通常化验室还和其他像检修、生活行政设施面积一起，设在车间的一端。化学分析室应尽量避免振动源，以避免由于振动对天平等仪器的影响，从而为分析结果带来误差。

### 12.1.45　化工车间的组成部分有哪些？

1）生产设施包括各生产工段、原料和产品仓库及堆置场、自动控制室、露天堆场、储罐区等。

2）生产辅助设施包括动力间（压缩空气、真空等）、采暖、除尘通风室、变电和配电室、机修间、化验室等。

3）生活行政福利设施包括车间办公室、工人休息室、更衣室、浴室及卫生间等。

4）其他特殊用室包括劳动保护室和保健室。

5）通道包括人流通道和物流通道。

6）今后发展余地。

### 12.1.46　如何进行涂装车间辅助设施中生活间和办公室的布置设计？

车间辅助设施主要包括上下件堆放场地、男女更衣室、男女卫生间、办公室、中央控制室、调漆间、储漆间、化学分析室和化学品储存间等部分。

（1）生活间　车间内男女更衣室及男女卫生间的布置，应根据车间的工作人员数量与性别，尽量考虑方便与实用。

（2）办公室　车间内办公室及化学分析室应根据车间管理人员及化学分析员数量进行合理的布置，通常中央控制室、办公室及化学分析室布置在车间的东南角或二层楼面，在条件允许的情况下，中央控制室、办公室及化学分析室应设置空调。

### 12.1.47　如何配置涂装车间的辅助房间及行政-福利室？

（1）车间辅助房间的配置　车间内除了各生产工段外，还有自动控制室、机器动力间、变电和配电室、通风采暖及除尘用室、机修间、材料仓库等辅助房间，必须对这些辅助房间也要作出合理的安排。在安排时，需和非工艺设计人员取得密切联系，征求他们的意见，然后统筹考虑。

（2）自动控制室　为了安全，甲类防爆车间必须单独设置；机器动力间可设在厂房内或行政福利室底层；机修间、通风用室、变电和配电间可分设在厂房中单独的房间内，也可设在行政-福利室内。

（3）行政-福利室的配置　行政-福利室包括车间办公室、工人休息室、更衣室、淋浴室、厕所等。由于行政-福利室和厂房的建筑结构不同，根据生产特点和总体布置，行政-福利室可采用单独式、毗连式或插入式。而以毗连式最为普遍。另外，如车间规

模很小，厂区面积不大，为了节约起见，不需要在车间内单独设立行政-福利室，全厂统一考虑即可。

### 12.1.48　如何确定涂装车间的人员？

在涂装作业流水生产的情况下，生产工人的数量应根据工作地的数量确定。

概略计算时，生产工人的数量按以往所做设计的技术经济指标确定。每个生产工人一年的产量以产品的件数、吨或人民币表示。人员计算定额见表 12-14。

**表 12-14　人员计算定额**

| 车间生产工人数 | 各类人员的比例(%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 占生产工人的比例 | | | 占工人的比例(不包括检查工) | |
| | 辅助工人(不包括检查工) | | 技术检查部门(技术检查科)的检查工 | 工程技术人员 | 技术检查站工程技术人员 |
| | 自动化的和机械化的 | 少量机械化的 | | | |
| 50 以下 | 35 ~40 | 30 ~35 | 8 | 10 | 2 |
| 50 ~100 | 30 ~35 | 25 ~30 | 7 | 10 | 1.5 |
| 100 以上 | 25 ~30 | 20 ~25 | 6 | 9 | 1.0 |

辅助工人按生产工人的百分数确定。调整工、运输工、化验员等辅助生产工人，在大批量流水生产的场合一般为生产工人的 15% ~25%，在单件或小批量生产的场合为 25% ~35%。勤杂工人一般为工人总数的 2% ~3%。

## 12.2　涂装车间的设备布置

### 12.2.1　涂装设备布置有什么内容？

1）确定各个工艺设备在车间平面和立面的位置。

2）确定某些在工艺流程图中一般不予表达的辅助设备或公用设备的位置。

3）确定供安装、操作与维修所用的通道系统的位置与尺寸。

4）在上述各项的基础上确定建筑物与场地的尺寸。

设备布置的最终结果为设备布置图。

### 12.2.2　涂装设备布置有哪些基本要求？

1）经济合理，节约投资，操作维修方便安全，设备排列简洁紧凑，整齐美观。

2）设备露天化布置。

3）生产工艺要求。

4）设备安装检修，建筑要求及其他。

5）车间辅助房间及行政-福利室的配置。

6）安全技术和防腐蚀问题。

### 12.2.3　涂装设备布置有哪些其他要求？

1）凡属十分笨重的设备或运转时能产生很大振动的设备（如压缩机、离心机、大

型通风机、破碎机等），尽可能布置在厂房的底层，以减少厂房的荷载和振动。

2）有剧烈振动的机械，要有独立的基础，其操作台和基础等切勿和建筑物的柱、墙连在一起，以免影响建筑物的安全。

3）设备布置时，要考虑到建筑物的柱子、主梁及次梁的位置。必须避开柱子和主梁。

4）厂房内所有操作台，必须统一考虑，避免平台支柱零乱重复，节约厂房内结构所占用的面积。做到更合理的组织操作和交通路线。

5）厂房出入口、交通道路、楼梯位置都要精心布置，一般厂房大门宽度要比所需通过的设备宽度大 0.2m 左右，比满载的运输设备宽 0.6~1.0m。

6）在不严重影响工艺流程顺畅的原则下，将较高的设备尽量集中布置，这样可以简化厂房体形，节约厂房体积。另外还可利用建筑上的有利条件（如利用天窗的空间）安装较高的设备。

### 12.2.4　涂装设备布置时有什么注意事项？

1）设备布置时应确保生产工艺流程，减少物料用转量，便于工作和设备的维修。

2）布置时，上下工序要衔接，布置点尽可能集中，以减少工件的传送距离，节省投资，便于管理，提高工艺和机械化水平。

3）给操作人员留有一定空地。为便于管理和安全，设备与墙壁之间的距离，设备间的距离、运输通道、人行通道的宽度，都有一定的规范，必须遵照执行。

4）布置运输链应尽量减少线路长度，驱动站布置于张力最大的地方，工件上挂段、卸下段高度应考虑装卸方便。

### 12.2.5　涂装设备布置的生产工艺有什么要求？

涂装车间设备布置的生产工艺要求如下：

1）在布置设备时应保证工艺流程顺畅、工艺管线短、工人操作方便和安全。保证工艺流程在水平方向和垂直方向的连续性。一般来说，计量设备布置在最高层，主要设备如反应设备等布置在中层，贮槽及重型设备布置在底层。

2）每一个设备都要考虑一定的占有空间，包括设备本身所占空间、设备附属装置所占空间、操作空间、设备检修拆卸占用空间。设备与设备、设备与建筑物间的安全距离有经验数据可以作为参考。

3）凡属相同的设备，或同类型的设备，或性质相似、操作有关的设备应尽可能布置在一起。这样可以集中管理，统一操作，节约劳动力。

4）要考虑相同设备或相似设备相互调换使用的可能性和方便性。这样可充分发挥设备的潜在力量。对于需要更换生产品种的车间布置，必须考虑当设备进行类似性质的其他反应或操作时，无需重新安排。

5）在设备布置时，要考虑到设备间的管线应尽可能短。管线和物料的输送尽量避免交错，同时，管道尽量沿墙敷设。

6）设备要排列整齐，避免过挤过松。设备间的距离要充分考虑工人操作的要求和交通的便利。原料、成品及排出物要有适当的空间和必要的运输通道。对于具有机械运动的设备，还要考虑设置安全防护装置的位置。

### 12.2.6　如何排列厂房内的涂装设备?

厂房内的设备排列方法如图12-18所示。

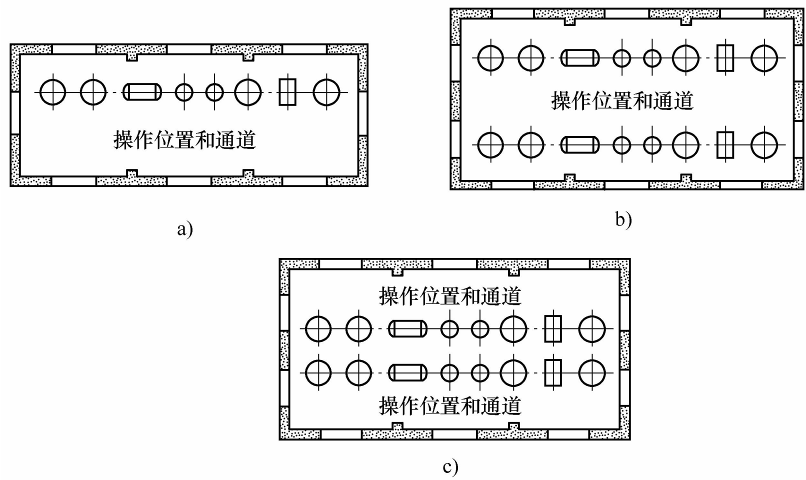



图12-18　厂房内的设备排列方法

a）Ⅰ类方法　b）Ⅱ类方法　c）Ⅲ类方法

### 12.2.7　涂装设备及通道的平面布置主要遵循哪些原则?

1）根据车间生产产品的纲领与产品的长度，确定机运方式与设备的初步外形尺寸，并结合厂房的具体情况布置生产线。

2）设备的合理布置应在保证车间生产流程的基础上，减少物料的周转量，便于生产与设备的维修与保养。

3）涂装车间的通道布置。通常人行通道的宽度为1.4～1.5m；小车单行通道为1～1.5m；小车双行通道为2～2.5m。

4）预处理设备通常应靠近厂房的外墙面，以利于设备的排风与废水的排出。

### 12.2.8　如何确定涂装设备的最小操作距离?

设备的最小操作距离如图12-19所示。设备间的安全距离见表12-15。

表12-15　设备间的安全距离

| 序号 | 项　　目 | 净安全距离/m |
|---|---|---|
| 1 | 泵与泵之间的距离 | ≥0.7 |
| 2 | 泵与墙之间的距离 | ≥1.2 |
| 3 | 泵列与泵列之间的距离（双排泵间） | ≥2.0 |
| 4 | 计量罐与计量罐之间的距离 | 0.4～0.6 |
| 5 | 车间内贮罐（槽）与贮罐（槽）之间的距离 | 0.4～0.6 |
| 6 | 换热器与换热器之间距离 | ≥1.0 |
| 7 | 塔与塔之间距离 | 1.0～2.0 |
| 8 | 离心机周围通道 | ≥1.5 |

（续）

| 序号 | 项　　目 | | 净安全距离/m |
|---|---|---|---|
| 9 | 过滤机周围通道 | | 1.0～1.8 |
| 10 | 反应器盖上传动装置离天花板的距离（如搅拌轴拆装有困难时，距离还应加大） | | ≥0.8 |
| 11 | 反应器底部距人行通道的距离 | | ≥1.8 |
| 12 | 反应器卸料口距离心机的距离 | | ≥1.0 |
| 13 | 起吊物品距设备最高点的距离 | | ≥0.4 |
| 14 | 往复运动机械的运动部件与墙之间的距离 | | ≥1.5 |
| 15 | 回转机械与墙之间的距离 | | ≥0.8 |
| 16 | 回转机械与回转机械之间距离 | | ≥0.8 |
| 17 | 通廊、操作台通行部分的最小净空高度 | | ≥2.0 |
| 18 | 操作台梯子的斜度 | 一般情况 | ≤450 |
| | | 特殊情况 | ≤600 |
| 19 | 控制室、开关室与炉子之间的距离 | | ≥15 |
| 20 | 工艺设备与通道之间的距离 | | ≥1.0 |

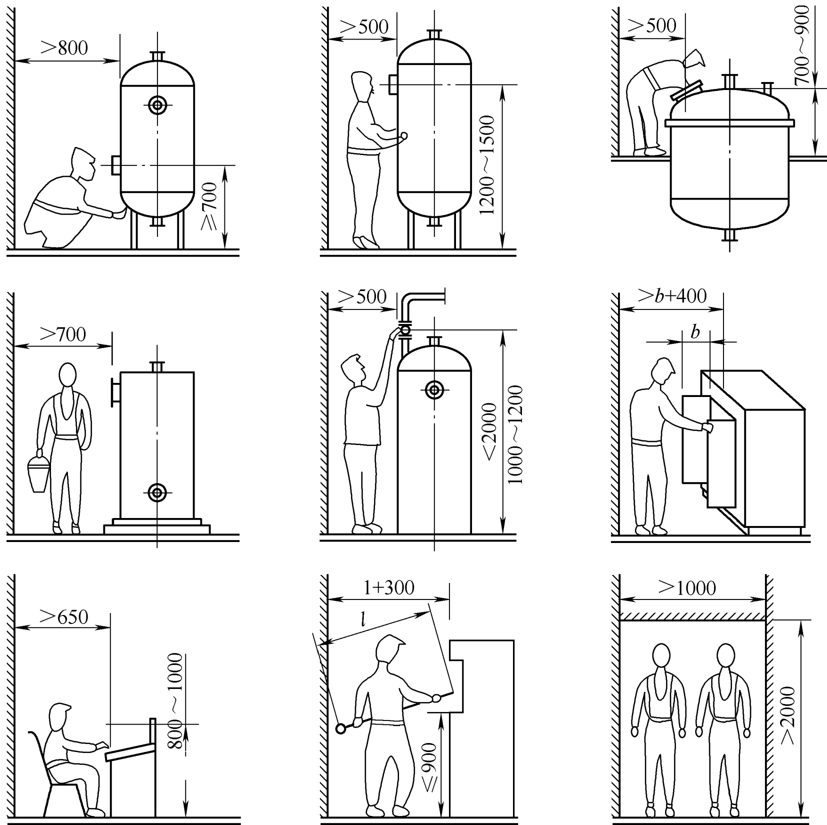



图 12-19　设备的最小操作距离

## 12.2.9　涂装设备操作时各设备之间或与车间内通道的宽度有哪些要求？

为便于管理和安全，设备与墙壁之间的距离，设备间的距离、运输通道、人行通道的宽度，都有一定的规范，必须遵照标准执行，见表 12-16。各设备和厂房构件之间的距离如图 12-20 所示。从工位到最近的向外出口或楼梯口的距离一般不大于 75m。多层建筑物内不大于 50m。

**表 12-16　设备之间及各通道宽度**

| 通　道 | 宽度/m | 通　道 | 宽度/m |
| --- | --- | --- | --- |
| 作业区域宽度 | 0.8～1 | 喷涂室出口与烘干室入口之间 | ≥2 |
| 维修与检查设备的人行通道的宽度 | 0.8～1 | 人工搬动距离 | ≤2.5 |
| 人行通道宽度 | 1.5 | 打磨、抛光和补漆工位与喷涂室或浸漆槽入口的间距 | ≥5 |
| 能推小车的运输通道宽度 | 2.5 | | |
| 双车道 | 3.5 | | |

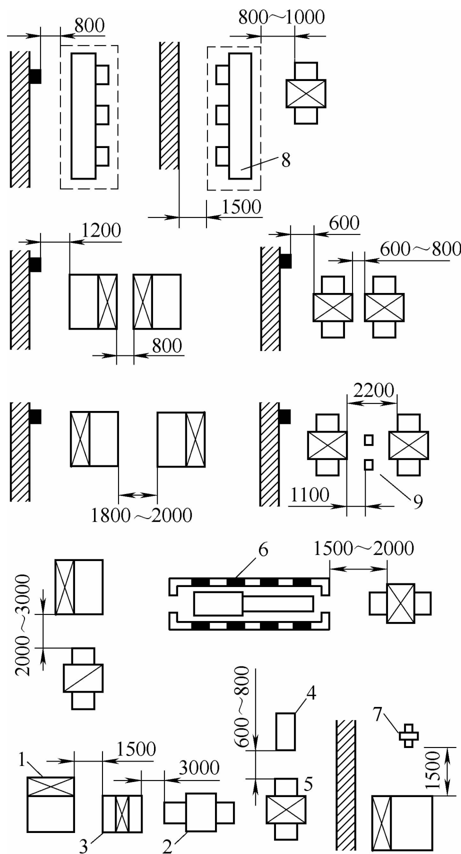



图 12-20　各种设备与厂房构件之间的距离

1—喷涂室　2—烘干室　3—静电喷涂室　4—冷却室　5—辐射烘干室
6—带沥涂料盘的浸涂槽　7—焊接装备　8—涂装预处理联合机　9—控制台

### 12.2.10　涂装设备露天化布置的优缺点是什么?

1）可以节省建筑面积，节约基本建设投资。

2）节约土建施工工程量，因而可加快基本建设进度。

3）将具有火灾及爆炸危险的设备露天化，就可降低厂房的防火、防爆等级，进而降低厂房的造价。

4）将有毒物质的设备露天化，就可减少厂房通风次数、节约通风设备及动力消耗。

5）对厂房的改建和扩建，其灵活性较大。

设备露天化布置的缺点是受气候条件影响大，操作条件差，并要求有较好的自控条件。

### 12.2.11　涂装设备在何种情况下需要考虑露天布置?

以下情况可以考虑露天布置：

1）生产中不需要经常看管的设备，辅助设备。

2）受气候影响较小的设备。

3）需要大气调节温度、湿度的设备。

4）不需要人工操作高度自动化的设备。

5）气温温和的地区。

在操作上可以放在露天的设备，原则上尽可能放在室外。

不允许放在室外的设备有：

1）不能承受大气影响，不允许有显著的温度变化的设备。如反应器，特别是间歇操作的反应和液相过程的反应器；使用冷却剂的设备等。

2）各种有机械传动的设备和机器，如压缩机、往复泵等。

3）生产控制和操纵台。

### 12.2.12　涂装设备安装检修、建筑有什么要求?

1）必须考虑设备安装、检修及拆卸的方式方法。设备的安装、检修和拆卸是化工厂比较突出的问题。这是由于化工厂设备种类多，化学腐蚀性大，需要经常进行维护检修甚至更换设备。因此在进行车间布置时，必须考虑到设备的安装、检修和拆卸的可能性。

2）必须考虑设备如何运入或搬出车间。设备运入或搬出次数较多时，宜设大门。一般厂房大门宽度要比所需通过的设备宽度大 0.2m 左右。但是，当设备运入厂房后，很少再需整体搬出时，则可设置安装洞，也即在外墙预留洞口，待设备运入后，再行砌封。

3）设备通过楼层或安装在二层楼上或更高时，可在楼板上设置安装孔。安装孔可设置为有盖板或无盖板二种。一般比较固定的设备也可在楼层外墙上设置安装洞，设备可在室外吊上由安装洞口运入。另外，化工厂中设备通过楼层安装的情况为数不少，如反应釜、塔式设备等，都是一半在楼下，一半在楼上。凡属此种类型安装时，也可直接从设备本身在楼层上的安装孔中吊上，这样安装比较方便。

4）在厂房中应有一定的面积和空间供设备检修及拆卸用。设备的起吊运输高度应

大于在运输线路上最高设备的高度。

5）必须考虑设备的检修和拆卸及运送物料的起重运输装置。起重设备的形式可根据使用要求来决定，如果不设计永久起重运输装置，应考虑安装临时起重运输装置的场所。另外，当厂房内设有起重运输设备时，要考虑物料的起吊和起重运输设备本身的高度。

## 12.3　涂装车间对环境的要求及影响

### 12.3.1　涂装车间对采光和照明的要求有哪些?

涂装作业要有适当的照度，其基准照度见表 12-17。

**表 12-17　涂装作业相关基准照度**

| 涂装类型 | 作　业　内　容 | 照度/lx |
|---|---|---|
| 高级装饰 | 手工装饰、汽车棉漆、漆膜检查 | 300 ~ 800 |
| 装饰性 | 一般产品、车辆、木器涂漆 | 150 ~ 300 |
| 一般 | 底层处理 | 70 ~ 150 |

车间照度取决于窗户采光、照明和室内物在涂装车间内设调漆间的亮度等。

车间尽可能自然采光，可设置窗户、天窗引入自然光，但要避免日光直射。在不能采用自然光的场合，可用人工照明，但整体的照明亮度必须均匀。在涂层检查、喷涂室、修补涂层等精细操作工位，还应使用局部照明。

当窗户面积为照射地面的 1/5 时，自然采光效果较好。一般建筑物表面采用较高反射率的材料，其功能是提高室内照明度。常见几种材料的反射率见表 12-18。

### 12.3.2　涂装车间对温度和湿度的要求有哪些?

涂装与温度、湿度的关系如图 12-21 所示。

**表 12-18　常见几种材料的反射率**

| 材　料 | 反　射　率 |
|---|---|
| 天花板 | 85% |
| 墙壁 | 60% ~70% |
| 地面 | 20% ~30% |

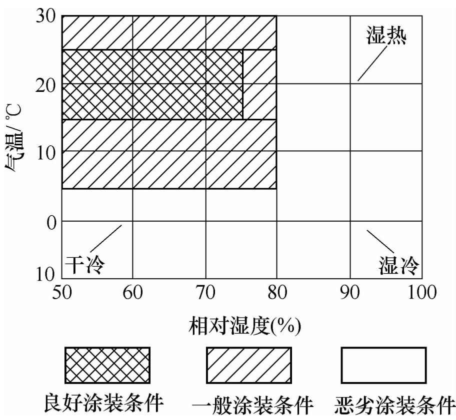



图 12-21　涂装与温度、湿度的关系

涂装车间的温度和湿度对涂料的施工性能和干燥性影响很大。应当避免在寒冷、高湿场合进行涂装。因为气温在 5℃以下，涂料干燥极慢；湿度在 85% 以上易产生涂层发白现象，使涂膜性能下降。各种涂料由于挥发性、施工性能不同，对涂漆时的温度、湿度要求也不同。各类涂料涂装时适宜的温、湿度见表 12-19。

**表 12-19　各类涂料涂装时适宜的温、湿度**

| 涂料种类 | 气温/℃ | 湿度（%） | 备　注 |
|---|---|---|---|
| 油性色漆 | 10～35 | <85 | 低温不好，气温高一些好 |
| 油性清漆，磁漆 | 10～30 | <85 | 气温高一些好 |
| 醇酸树脂涂料 | 10～30 | <85 | 气温高一些好 |
| 硝基漆，虫胶漆 | 10～30 | <75 | 高湿不好 |
| 多液反应型涂料 | 10～30 | <75 | 低温不好 |
| 热塑性丙烯酸涂料 | 10～25 | <70 | 湿度越低越好 |
| 各种烤漆 | 10～25 | <75 | 中等温，湿度较好 |
| 水性乳胶涂料 | 10～35 | <75 | 低温、高湿不好 |
| 水溶性烘烤磁漆 | 10～35 | <90 | 温度、湿度越均匀越好 |

其次，底材表面温度较气温低时易结露，所以底材应很好干燥。底材的表面温度应比大气高 1～2℃。而且，结露时必须烘干。

最适宜的工作条件是在 20℃以下，相对湿度 75% 以下。必要时应设置调温调湿除尘装置。

### 12.3.3　对涂装车间地面的要求有哪些?

为保证涂装车间的整洁、彻底无尘化的要求，涂装车间地面涂覆耐化学药品性的塑胶涂层，以便于冲洗。由于塑胶涂层代价较高，可根据具体的地面要求来选择。涂装车间各作业点地面要求见表 12-20。

**表 12-20　涂装车间各作业点地面要求**

| 序号 | 工　位 | 一般要求 | 较高要求 |
|---|---|---|---|
| 1 | 涂装预处理 | 小磨石 | 瓷砖 |
| 2 | 涂底漆、刮腻子、打磨 | 高标准水泥 | 小磨石 |
| 3 | 酸洗处理 | 花岗岩石板 | 耐酸瓷砖 |
| 4 | 面漆和罩光 | 水磨石 | 瓷砖 |
| 5 | 电泳涂装 | 水泥 | 水磨石 |
| 6 | 零件库 | 水泥 | 木板 |
| 7 | 化学品库 | 水泥 | 瓷砖 |

### 12.3.4　涂装车间对尘埃的许可程度是什么?

涂装车间对尘埃的许可程度见表 12-21。国外某汽车厂对轿车车身涂装车间各区提

出含尘粒（粒径小于 3μm）量基准见表 12-22。

表 12-21　涂装车间对尘埃的许可程度

| 类　　别 | 例 | 粒径 /μm | 粒数 /(个/cm³) | 尘埃量 /(mg/m³) |
|---|---|---|---|---|
| 一般涂装 | 建筑物、防腐涂层 | <10 | <600 | <7.5 |
| 装饰性涂装 | 汽车、仪器仪表 | <5 | <300 | <4.5 |
| 高级装饰性涂装 | 轿车 | <3 | <100 | <1.5 |

表 12-22　轿车车身涂装车间各区的含尘粒量的基准①

| 级别 | 名称 | 区域范围 | 尘粒子含量限度 /(万个/m³) | 正压状况② |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 超高洁净区 | 喷漆室内 | 158.6 | ++++ |
| 2 | 高洁净区 | 喷漆室外围<br>调漆间 | 352.5 | +++<br>(+) |
| 3 | 洁净区 | 中涂、面漆前的准备区 | 881 | ++ |
| 4 | 一般洁净区 | 烘干室、前处理区等 | 2819.6 | + |
| 5 | 其他区 | 仓库、空调排风设备间 | 4229.4 | 0 |

① 气温最高不超过 35℃，生产时的最低温度不低于 15℃，停产时的最低温度为 12℃。
② 对于正压状况，++++表示正压力很大；+++表示正压力大；++表示正压力较大；+表示有正压力；(+) 表示微正压力。

## 12.3.5　尘埃的防治措施有哪些?

空气中的尘埃直接影响涂层的外观质量。尤其是涂布烘烤型涂料场合。为了得到优良的涂膜，必须采取适当的防尘措施。一般应设法除去 10μm 以上的尘埃。常见防尘方法见表 12-23。

表 12-23　常见的防尘方法

| 种类 | 方法 | 除尘范围 | 备　　注 |
|---|---|---|---|
| 粘性过滤法 | 用油湿润的过滤器过滤（金属丝网） | >5μm | 过滤器可使用较长时间再清洗 |
| 干性过滤法 | 用纤维毛毡等过滤器过滤 | <1μm | 过滤器使用期短、代价高 |
| 水喷射法 | 喷射水洗净空气 | >10μm<br>油性尘埃难除 | 空气调节装置的一部分 |
| 离心除尘法 | 借助离心力除去大尘 | >60μm | 主要用于排气除尘 |
| 静电除尘法 | 使尘埃带负电聚集于阳极上 | 0.01~0.05μm | 效果好、代价高 |

## 12.3.6　涂装作业场所的通风原则是什么?

涂装作业场所必须设置通风装置，以防止涂装过程有害物质的危害，使涂装预处理

和涂装作业的劳动条件符合安全卫生要求，保障作业人员安全和健康。

涂装作业场所应注意实现有组织的自然通风，同时应在产生有害物质的工位设置局部排风。当设置局部排风后，作业场所尚不能符合 GB Z1—2010《工业企业设计卫生标准》的规定时，应辅以全面通风以达到其规定要求。这是涂装作业场所的通风应遵循的基本原则。

应注意实现有组织的自然通风，这是很重要的一条原则，往往为人们忽略。需知，自然通风不需要消耗电能而可将室外空气送入室内，并将室内的热空气和含有害物质蒸气的空气排至室外。自然通风一般用侧窗、天窗或气楼进行有组织的换气，以排除余热。侧窗和天窗的面积或气楼的流通面积是按照它们所在的位置，并根据余热的大小来确定的，所以，为易于实现自然通风，有余热的涂装作业场所宜靠外墙布置，如余热大的烘干室等设备，也宜靠外墙布置。

在遵循以上通风基本原则下，还应注意掌握以下几项具体原则：

1）在实体墙分隔的建筑物内，在固定工位上进行手工脱脂或除旧漆时，应设置局部排风或同时辅以全面通风，当脱脂或除旧漆工位不固定时，则可采用移动式局部排风或全面通风。

2）涂漆预处理作业中的浸蚀处理液、脱脂清洗液和除旧漆的配置宜在封闭装置或配制间内进行，并设置机械通风。

3）涂漆作业应开始先开风机，后起动喷涂设备。当通风系统停止或失灵时，自动控制装置应立即切断电源，并向操作人员发出信号。工作结束，应先关闭喷涂设备后关风机。

4）脱脂、除旧漆或涂漆作业过程中，在空气中同时散发苯及其同系物或醇类、酯类等多种有机蒸气时，全面通风换气量至少应按各种有机溶剂蒸气分别稀释至最高容许浓度所需空气量的总和计算。除上述有害物质的气体及蒸气外，其他有害物质同时散发在空气中时，通风量应按需要空气量最大的有害物质计算。

5）涂装作业场所经常排出有害气体的机械排风系统，为在通风设备停止运转时仍能继续排出有害气体，应设置旁通排风管。

6）在涂装作业场的通风系统中，应有足够大的通风量，要求易燃易爆的气体、蒸气的浓度不得超过其爆炸下限浓度的 25%（体积分数）。

7）在密闭空间内进行涂装或涂装预处理等作业时，应设置移动式排风装置，有害气体的气流必须避免流经操作者的呼吸带。

### 12.3.7　什么是局部排风？

局部排风是涂装作业工位应用广泛的通风方式，它是在涂装作业工位上合理设置通风机和管网，将所散逸的处理槽内的处理液蒸汽或涂装设备上其他废气排出，使作业区的有害物质浓度达到 GB Z1—2010 规定的允许值以下。局部排风由于靠近污染源，排出路程短，所需风量小，易于净化回收。局部排风与全面通风相比，经济性高，效果好。

局部排风的一般设计原则是，按照设计程序组成局部排风系统。涂装作业工位局部排风系统主要由排风罩（或称吸气罩）、风管、风机、净化装置等组成。

### 12.3.8　局部排风系统的建立程序是什么？

通常，按照涂装作业工位或涂装设备的结构形式，选择排风管的类型和尺寸，并确定其控制风速。所谓控制风速，即在排风罩入口处的风速范围，从而由控制风速和罩口面积计算需要风量；随后，在此条件下，根据涂装作业工位排出有害物质的类别及其浓度变化，选择或设计净化装置；最后，按照各处风管的布置和位置及风管的经济风速，确定风管的截面大小、材质及其安装。在确定以上各项内容的基础上，计算局部排风系统的阻力损失，其中包括净化装置的阻力损失在内，据此选择风机所需最小风量，然后再加 10% ~15% 的漏风系数，即为风机的实际最小风量。由上述计算得到的所要求的风压和风量，依据风机的性能曲线即可确定适合的风机。

### 12.3.9　什么是全面排风？

当涂装作业的工艺和设备不固定，无法采用局部排风时，或采用局部排风后，仍未能达到 GB Z1—2010《工业企业设计卫生标准》时，应采用全面排风。

对于大面积涂装作业，因散发面广，应采用有组织的全面排风，使操作者不处于污染气流中。

涂料配制室往往需要局部通风的位置多，而不得不采用全面排风。

全面排风系统气流组织的流向应避免使有害物质流经操作者的呼吸带。

全面排风系统适合在污染物浓度低而已污染了整个作业场所的空气的情况下，从引入室外的新鲜空气。靠这些空气来减轻污染程度，而使整个作业场所的污染浓度低于最大允许浓度，而后排入大气。在一般有机溶剂（第二类、第三类）情况下，由于全面通风易于见效，故不设局部排风。多数用送风机将空气送入室内，用排风机以排除室内的溶剂蒸气来进行全面通风。

### 12.3.10　设计全面排风时有什么注意事项？

1）在污染源附近应设置排风口，在排风口和空气补偿源之间形成的气流应通过污染区。气流移动应保证污染源在排风口和操作者之间。因此排风口位置的确定合理与否，对通风效果的差异很大。

2）排风口的烟囱应有一定高度，以免排出的污染空气被吸回，或在排风口处连接净化装置。

3）全面通风一般为机械全面通风，通常是在不能利用自然通风或混合通风的情况下采用的。

4）在采用全面通风时，应从涂装作业场所内污染最严重的地方排风。机械通风装置应保证空气不从有害物质多的或具有爆炸物质的作业场所进入有害物质少的或无爆炸性物质的场所。

5）在产生有害物质和爆炸性物质蒸气的作业场所，全面排风只能作为局部排风的一种补充手段。

6）当产生的有害物质的蒸气的密度小于空气的密度时，即作业场所上部污染严重时，应从上部排风；反之，应从下部排风。

7）机械通风系统的进风口应布置在空气污染最少的地方，尽可能布置在建筑物的迎风面，并远离排风口和产生火花的地方。

8）在产生粉尘的涂装作业场所，应从作业场所的上部送风。

9）为控制通风装置的噪声，对于操作人员的影响，应不超过工业企业噪声卫生标准的规定，在选用和布置通风设备和管道时，应采取消声、陷声、隔振和减振等措施。

### 12.3.11　如何计算全面排风系统的通风量?

排放有机溶剂的最小必需通风量可按每分钟换气量经验公式计算，即

$$Q=\frac{M}{S_1-S_2}$$

式中　$Q$——全面通风量（$m^3/h$）；

$M$——有害物质散发量（mg/h）；

$S_1$——有害物质最高允许浓度（$mg/m^3$）；

$S_2$——抽入空气中有害物质浓度（$mg/m^3$），抽入空气为清洁空气时 $S_2=0$。

当涂装作业场所同时散发几种有害物质时，应分别计算稀释各种有害物质到允许浓度所需的全面通风量，最后取其最大值作为设计计算依据。当涂装作业场所同时散发几种溶剂蒸气苯及其同系物、乙醇、乙酸酯类时，此时稀释用的全面通风量应分别按每种有害溶剂的蒸气稀释到容许浓度所需全面通风量的总和计算。

### 12.3.12　如何选择控制风速?

所谓控制风速，是指需要控制的最远点或最不利点的必须风速，也可以说，是能够有效地将控制点最远或最不利点散发的有害物质捕集到吸气罩中来的该点风速。这样的控制点可以在罩口前方离罩口距离 $d$，也可以在罩内。当控制点位于吸气罩内时，即整个工件或有毒气体散发源都在罩内时，控制风速就等于罩口风速。吸气与吹气比较如图 12-22 所示。

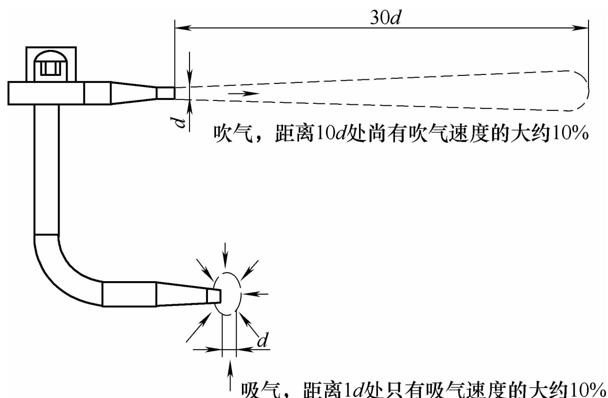



图 12-22　吸气与吹气比较

### 12.3.13　条缝式排风罩如何选择控制风速?

当采用条缝式排风罩时，各种预处理作业处理槽的液面控制风速见表 12-24。

表 12-24　条缝式排风罩的控制风速

| 处理槽名称 | 主要组分 | 处理温度/℃ | 液面控制风速/(m/s) |
|---|---|---|---|
| 硫酸侵蚀处理槽 | $H_2SO_4$ 15% ~25%<br>HCl 15% ~20%<br>$H_2SO_4$ HCl 等 | 40 ~80 | 0. 36 |
| 盐酸侵蚀处理槽 | | 10 ~35 | 0. 30 |
| 混合物侵蚀处理槽 | | 常温 | 0. 40 |
| 高温磷化处理槽 | | 85 ~95 | 0. 35 |
| 中温、常温磷化处理槽 | | 常温或 55 ~75℃ | 0. 30 |
| 草酸处理槽 | | 55 ~75 | 0. 30 |
| 碱液脱脂处理槽 | | 70 ~98 | 0. 35 |
| 铬酸盐钝化处理槽 | | <95 | 0. 35 |

### 12. 3. 14　铝合金阳极氧化处理槽如何选择控制风速?

铝合金阳极氧化处理中，各种处理槽的液面控制风速见表 12-25。

表 12-25　铝合金阳极氧化处理槽的控制风速

| 处理槽名称 | 处理温度/℃ | 液面控制风速/(m/s) |
|---|---|---|
| 铝合金硫酸阳极氧化 | 13 ~26 | 0. 30 |
| 铝合金草酸阳极氧化 | 30 ±5 | 0. 20 |
| 铝合金铬酸阳极氧化 | 40 ±5 | 0. 35 |

### 12. 3. 15　涂漆预处理作业场所通风方法是什么?

1）涂漆预处理作业场所应具有良好的有组织自然通风，对产生有害物的作业工位，应同时设置局部机械排风；当设置局部机械排风后，尚不能保证将有害物排除时，应辅以全面机械通风，以保证作业场所的劳动卫生条件符合 GB Z1—2010 相关规定。

2）当在可封隔的建筑物内，对大型制件在固定工位上进行手工操作脱脂或除旧漆时，应采用局部机械排风或局部排风辅以全面机械通风；当脱脂或除旧原作业工位不固定时，则可采用全面机械通风。

3）涂漆预处理作业小的侵蚀处理液、脱脂清洗液和除旧漆液的配制，应在封隔的建筑物内进行，并采用全面机械通风。

4）脱脂或除旧漆作业过程小，在空气中同时散发二甲苯、乙醇、丁醇几种有机溶剂时，全面通风的换气量应按几种有机溶剂分别稀释至最高容许浓度，所需空气量总和计算。

5）中小件手工操作除锈或机动工具除锈的工位，必须设置局部机械排风装置；大件的手工操作除锈或机动工具除锈应在封隔的建筑物内进行，并采用全面机械通风。

6）预处理作业场所的通风净化装置，所生成的噪声经治理后，对操作者的影响应符合《工业企业生产过程限声控制规范》的规定。

7）手工操作的涂装前处作业场所，应与周围生产车间（工段）封隔，共作业区域的环境温度以不低于 10℃。

8）对于加热处理的酸性除锈液或碱性脱脂液的预处理槽，宜添加有效的酸（碱）雾抑制剂以形成覆盖层减少酸（碱）雾弥散，降低机械排风要求。

9）对于有机溶剂脱脂清洗槽可采用密闭式机械排风，其密闭罩长度以脱脂清洗槽的一倍为宜，供制件出罩前停放，挥发发残存的溶剂蒸气，密闭罩罩面风速不应低于 0.4m/s。

10）预处理作业中，磷化槽、钝化槽和阳极氧化槽均应设置各自独立的机械排风系统。在采用机械化预处理生产线时，排风罩以采用密闭式为宜；在手工操作时，排风罩应采用条缝型槽边抽风罩。

### 12.3.16　涂装作业工作台如何局部排风?

涂装作业工作台主要有手工脱脂作业工作台、手工或机动工具除锈作业工作台、打腻子作业工作台、腻子打磨或涂膜打磨作业工作台及涂漆作业工作台。以上各类工作台都需要局部排风。这类局部排风的设计程序、排风罩选择和排风量的计算如下：

1）选定排风罩形式。涂装作业工作台所适用的排风罩形式及其所需排风量主要依据害物质蒸气的危险度和各种排风罩的控制风速选择，然后再行选用排风罩的形式及其所需排风量。

2）考虑溶剂蒸气发生源产生的污染物的扩散方向，扩散距离及排风罩形式。确定溶剂气体捕捉点适宜吸入风速。

3）分别确定每个排风罩的排风量。

4）在平面，立体圈上研究风管配置方能确定排风脱臭装置的安放位置。

5）用流速调节平衡法，按管内风速和排风量顺次计算吸入侧的支、干管的内径。

6）计算排风罩和风机前的压力损失。

7）求出处理装置加热的压力损失。

### 12.3.17　涂装作业场所采用什么措施通风?

涂装作业场所采用的通风措施是：

1）涂装作业场所的全面通风的换气量是根据挥发的有害物质冲淡到允许浓度来进行计算的。对于设置烘干室或烘道等有余热散发的场所，还要检查为消除余热所需的通量。经检查对比后，选取采用较大的通风量。

2）为保证防火安全，在涂装作业场所的各个局部排风系统中，不允许连接成一个总的系统，也不允许将空气再循环。

3）手工刷漆所用有机溶剂涂料中，当含有烃的氯化物和甲醇时，除采用有效通风外，操作人员还应佩戴送风面罩。

4）在浸漆时，容量在 0.5$m^3$ 以下的浸漆槽应配备带盖的侧边排风罩，不工作时，用盖子盖起来。对容量超过 0.5$m^3$ 的浸漆槽，应采用配置局部排风的排风罩罩起来。通风装置与浸漆槽的工件传送装置联锁，工件传送装置停止后，通风装置继续运行几分钟。

5）喷涂室排出的空气必须经过水过滤器净化，除去其中悬浮漆粒。喷涂室的排风

量，当操作人员在室外操作时，可按操作区进风口处吸气速度为 0.7 ~ 0.8m/s 计算。

6）对于静电喷涂室的排出空气量，可按静电喷涂室的进风口处的吸气速度为 0.3 ~ 0.4m/s 计算。此排风量应保证将有机溶剂蒸气冲淡到不超过爆炸浓度下限的 20%，同时为保证静电喷漆工作区的气流速度不超过 0.4m/s，则进风的风管布置应有条件限制，即风管口布量在与工件传送装置相垂直的喷涂室侧壁上，并均匀地分布。同时，在静电喷漆装置上应设有联锁装置，避免在通风系统停止运转时，喷涂系统与静电喷涂高压静电发生器接通。

7）对于未采用喷涂室的大型或重型产品，进行喷涂时，采用的通风装置应使空气由上而下地流动，通风量可采用扩大经验指标计算，根据此大型或重型产品外形的水平投影面积，与产品周围通道面积之和（通道宽度宜不小于 1.2m）计算，此面积的每平方米的排风量为 1800 ~ 2200$m^3$/h，当所用涂料中含有铅化合物或芳香族烃的成分时，可取上限，含其他有机溶剂则取下限为宜。

8）当手工涂覆狭窄密闭空间内壁时，如机车车厢、槽车、大型汽车车厢，在这些狭窄密闭空间的上部至少应有两个开口（入孔），其中一个开口用以排风，另一个开口用以吸进洁净空气，开口的吸气速度不超过 5 ~ 7m/s。同时，操作人员必须佩戴送风面罩。

9）油漆配制都必须设置机械进排风系统。从上部区域排风，其排风量不得小于一次换气量。在非工作时间用开着的侧窗和天窗进行自然通风，如不能保证这个条件，必须用机械排风补偿。

10）一般烘干室或供道必须配置通风装置，以避免有害气体在烘干室或烘道内达到爆炸浓度范围。同时为了防止被有机溶剂蒸气污染的空气流入涂料作业场所，在烘干室或烘道与喷涂室之间，用传送装置相连的区段可设置排风罩。

11）对于用煤气加热的辐射烘干室，其排风装置应与煤气的供气和点火装置相联锁。

12）涂装作业场所建筑物与相邻生产车间相隔开的门斗，应当采用机械送风，其送风量不得少于 5 次换气，并不得少于 200$m^3$/h。

### 12.3.18　清理设备的通风量有什么要求？

通风换气有利于涂料干燥，也有利于安全卫生。由于涂装车间溶剂挥发量大，通风换气可以使车间中各种有害物浓度保持在国家规定的允许浓度以下，以确保操作工人的身体健康。清理设备的总通风量是清理室体所需风量和其他部件所需风量之和。清理设备的通风量见表 12-26。

表 12-26　清理设备的通风量

| 部件名称 | | 通风量/($m^3$/h) |
|---|---|---|
| 斗式提升机 | | 600 ~ 1200 |
| 普通分离器 | | 2400 ~ 3000 |
| 喷丸缸加丸处 | | 500 |
| 滚筒筛 | 直径 < 800mm | 2500 |
| | 直径为 800 ~ 1200mm | 3500 |

（续）

| 部件名称 | | 通风量/($m^3/h$) |
|---|---|---|
| 滚筒筛 | 直径为 1200 ~ 1500mm | 5000 |
| 滚筒筛 | 按开口处风速大于 1.5m/s 计算所需通风量 | |
| 振动筛 | 按每 $1m^2$ 筛面积需 $1500m^2/h$ 通风量计算，或按开口处风速大于 1.5m/s 计算所需通风量 | |

## 12.3.19　如何计算清理室室体的通风量?

清理室室体所需通风量有以下四种计算方法，可根据不同的设备类型选取计算方法。

1）按室体容积和尺寸选取所需通风量，其数值见表 12-27。

**表 12-27　按室体容积和尺寸选取通风量**

| 室体容积/$m^3$ | 喷砂室 | | 喷、抛丸室 | |
|---|---|---|---|---|
| | 通风量/($m^3/h$) | 换气次数/(次/min) | 通风量/($m^3/h$) | 换气次数/(次/min) |
| <1 | 1200 ~ 1800 | 50 | 900 ~ 1500 | 40 |
| 1 ~ 2 | 3000 | 30 | 2400 | 25 |
| 2 ~ 5 | 3600 | 20 | 3000 | 15 |
| 5 ~ 10 | 6000 | 15 | 4500 | 10 |
| 10 ~ 20 | 9000 | 12 | 6000 | 9 |
| >20 | 14400 | 10 | 10800 | 7 |

| 清理滚筒 | 滚筒直径/mm | 600 | 800 | 900 | 1050 | 1200 | 1350 | 1500 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 清理滚筒 | 通风量/($m^3/h$) | 700 | 900 | 1300 | 1700 | 2300 | 2900 | 3500 |
| 清理滚筒 | 空心轴风速(m/s) | 18.5 | 18.8 | 19.0 | 18.5 | 20.4 | 21.2 | 21.0 |

2）按喷嘴或抛丸器数量确定通风量，喷砂和喷丸设备单个喷嘴所需通风量见表 12-28。

**表 12-28　单个喷嘴所需通风量**

| 喷嘴口径/mm | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 通风量/($m^3/h$) | 喷砂 | 6000 | | 8000 | | 10000 | 14000 | 18000 | 23000 | 30000 |
| 通风量/($m^3/h$) | 喷丸 | | 5000 | 5000 | 5500 | 7000 | 10000 | 13500 | | 18000 |

抛丸除锈时，一个抛丸器可按 1000 ~ $2000m^3/h$ 计算风量，进行抛丸清理铸件时，所需的风量 $Q$ 可按下式计算

$$Q = E[3500 + 2500(n - 1)]$$

式中　$Q$——通风量（$m^3/h$）;

$n$——抛丸器的数量；

$E$——考虑缝隙泄漏量的系数，用于连续式抛丸室是 $E=1.3$，用于死端式抛丸室 $E=1.1\sim1.15$。

3）按清理室体的缝隙面积和门洞大小计算所需通风量主要用于连续抛丸室。

$$Q=3600mv\sum A$$

式中　$Q$——通风量（$m^3/h$）；

$\sum A$——门洞和缝隙的面积总和（$m^2$）；

$v$——通过门洞和缝隙的气流速度，用于连续式抛丸室时，$v>5m/s$；用于喷砂室时，$v=1\sim4m/s$；

$m$——安全系数，取 1.05～1.1。

4）按清理室体水平截面上的风速计算通风量，不同截面风速的通风量见表 12-29。

**表 12-29　不同截面风速的通风量**

| 清理对象 | | 铸件清理氧化皮及锻件焊接件除锈 | | | | 带砂铸件的清理 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 喷砂 | 室体容积/$m^3$ | <20 | | >20 | | <8 | 8～20 | 20～50 | >50 |
| | 水平截面风速/(m/s) | 0.5～0.4 | | 0.4～0.3 | | 0.7～0.6 | 0.6～0.5 | 0.5～0.4 | 0.4～0.3 |
| 喷丸 | 室体容积/$m^3$ | <8 | 8～20 | 20～100 | >100 | <8 | 8～20 | 20～100 | >100 |
| | 水平截面风速/(m/s) | 0.3～0.25 | 0.25～0.20 | 0.20～0.15 | 0.15～0.12 | 0.4～0.5 | 0.35～0.4 | 0.4～0.35 | 0.3～0.25 |

## 12.3.20　怎样划定爆炸危险区域？

房间有效空间（$V'$）等于车间面积（$V$）扣除设备占有体积，大约为车间空间的 80%。

在电源中断、排风停止、油漆管路损坏引起涂料漏淌到地面时，易燃物大量扩散到车间中，出现紧急状态。紧急状态时的危险程度可按下式计算

$$V_P=10\sum P/C_{min}^{o}$$

式中　$V_P$——易燃易爆混合物体积（$m^3$）；

$\sum P$——危险状态时，散发到空间中的溶剂蒸气量总和（g）；

$C_{min}^{o}$——溶剂蒸气爆炸下限（$g/m^3$）；

10——安全系数。

若 $100V_P/V'$ 大于 5%，那么整个房间有爆炸危险；若 $100V_P/V'<5\%$，那么溶剂散发点为中心的半径 5m 范围有爆炸危险，其余区域正常。

## 12.3.21　车间布置设计时的安全技术和防腐蚀问题有哪些注意事项？

1）要创造良好的采光条件，除建筑本身考虑外，工艺人员在设备布置时也必须考虑。在布置设备时，尽可能做到工人背光操作。另外，属高大的设备避免靠窗布置，影响采光；为了解决采光和通风问题，设计有不同的建筑形式，特别是不同的屋顶结构。

2）通风是化工厂重要的课题。首先考虑如何最有效地加强自然对流通风，然后再考虑机械送风和排风，以补不足。厂房每小时通风次数的多少是根据生产过程中有无毒

害物质和易燃易爆气体逸出及空气中有害物质最大允许浓度和爆炸极限而定。另外，产生大量热量的车间也需要增加通风次数和降温措施。为了加强自然通风，可在厂房楼板上设置中央通风孔。中央通风孔还可解决厂房中央光线不足问题。

3）火灾危险性甲类厂房通常称为防爆车间。对于防爆车间必须做出相应的措施。除从建筑方面考虑外，工艺人员必须考虑：①合理的布置厂房的平面和立体，一般甲类厂房应是单层的，内部装有操作台。避免车间中有死角，防止爆炸性气体及粉尘的积累；②当防爆厂房必须和其他厂房连接时，必须用防爆墙（防火墙）隔开；③在通风上必须保证厂房中易燃易爆气体或粉尘的浓度不超过允许限度；④采取必要措施防止静电放电现象及着火的可能性。

4）化工厂厂房的防腐蚀也是重要的。凡是产生腐蚀性介质的设备，除设备本身的基础需加防护外；还需考虑设备附近的墙、柱等建筑物的腐蚀性，必要时加大设备与墙、柱间的距离。

### 12.3.22　涂装车间对劳动安全卫生的要求？

除了要满足对照明度的要求以外，还要满足以下三点要求：

（1）卫生　应符合 GB Z1—2010 的要求。

（2）安全　安全要求如下：

1）喷涂室必须有足够的防火、防爆措施和灭火器具。

2）在喷涂有机溶剂涂料的场合，喷涂作业区是甲级防火区，喷涂室设计应符合国家和当地消防安全法规的要求。

3）喷涂作业室内电器、电动机和排风机应选防爆型。手工喷涂和自动静电喷涂工序布置在同一喷涂室内，则应设置 $CO_2$ 自动灭火设备。

4）一旦发生事故，为能使操作人员尽快躲避，在整个系统中应设有报警装置，报警时间 30s，人快速撤离后喷 $CO_2$。

5）一般在手工喷涂场合，喷涂作业区配备自动喷水装置（当气温或火烟达到一定温度，易熔合金熔开即自动喷水灭火）和一般灭火器。

（3）施工场地　施工场地的要求如下：

1）喷涂室应有足够的施工场地，自动喷涂的不同机器人喷涂对场地宽度有一定要求。

2）场地应保持操作者作业时有良好的视野。

3）施工点应有足够的新鲜空气供给。

4）施工点与喷射区应有醒目的安全标记。

## 12.4　涂装工艺技术经济指标

### 12.4.1　涂装工艺有哪些技术指标？

车间设计的涂装工艺主要从劳动生产率、工人劳动强度、能耗和原材料消耗、涂层质量、占地空间、工程投资等进行综合考虑，以判断技术上是否先进、经济上是否合理。因此需要编制下列技术指标：

1）车间单位面积（$m^2$）的年产量，以数量（台/套）、质量（t）和面积（$m^2$）表示。

2）工人的平均年产量，以 $m^2$/人表示。

3）工人平均所占车间生产面积，以 $m^2$/人表示。

4）单位能耗，以每套产品或每平方米计。

5）单位生产劳动量，以人 · h/套表示。

6）单位产品生产成本，以元/套表示。

7）单位产品工艺投资，以元/套表示。

### 12.4.2　涂装车间设计主要数据和技术经济指标是什么？

涂装车间设计主要技术经济指标按表 12-30 所列格式编制。

**表 12-30　涂装车间设计主要数据和技术经济指标**

| 主要数据和指标名称 | 按厂房的指标 | | 主要数据和指标名称 | 按厂房的指标 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | No. 1 | No. 2 | | No. 1 | No. 2 |
| A. 主要数据： | | | B. 指标： | | |
| 年产量/t(或台/套) | | | 车间每平方米总面积的年产量/(t/$m^2$)[或(台、套)/$m^2$] | | |
| 年涂装表面面积/$m^2$ | | | 工人的平均年产量/(t/人) | | |
| 车间总面积(不含生活间)/$m^2$ | | | 工人的平均年产量/($m^2$/人) | | |
| 其中生产面积/$m^2$ | | | 单位生产劳动量/(h/t) | | |
| 工人总数/人 | | | 每平方米涂装面积劳动量/(h/$m^2$) | | |
| 其中生产工人 | | | 单位能耗/[kW/(t、台、套或 $m^2$)] | | |
| 年产量的总劳动量/工时 | | | 单位产品生产成本/[元/(t、台、套或 $m^2$)] | | |
| 安装容量/kW | | | 单位生产工艺投资/(元/套) | | |

注：No. 1 和 No. 2 的指标是两套设计方案或设计方案与现有生产工艺的指标对比。

### 12.4.3　涂装车间或工段的技术经济指标是什么？

机械产品的涂装车间或工段的技术经济指标见表 12-31。

### 12.4.4　如何进行涂装设备的制造施工与验收？

1）涂装设备的制造施工应按部件图的设计要求进行组装。

2）设备主要部件外形尺寸的公差、形状与位置公差（如淌水板、水幕板和均流板等影响水流、气流分配和工作性能的钣金件表面的平面度公差）应满足设计要求并符合相关标准规定。

3）型材和钢结构的垂直度和直线度应满足设计图样和相关标准规定的要求（GB 50250—1995）。

4）钢结构的焊接和焊接质量评定按设计图样要求和相关标准执行。如气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸，现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范。

## 表 12-31　涂装车间和工部的技术经济指标

| 工厂名称 | 车辆 | | 内燃机车 | 汽车 | | 机床制造 | | 冶金设备 | | 锅炉 | 起重运输设备 | 润滑设备 | 仪器制造 | 自行车 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 车间工部名称 | 涂装工部 | | | 涂装车间 | | 机床涂装工部 | | 涂装工部 | 涂装车间 | 涂装工部 | | | 电子计算机涂装工部 | 涂装工部 |
| | 载货车 | 客车 | 内燃机车的装配试车 | 车身和车身零件 | 载重汽车零件 | | | | | | | | | |
| 产品 | 载重125t的全金属敞车 | 客车车身重37t | 装好的内燃机车 | 小轿车车身，重274kg | 驾驶室平台，车架，底盘零件，最大质量638kg | 卧式铣床重2.9t | 铣床重3.85~167t | 金属结构件，最大质量37kg | 轧钢机和精整设备零、部件，最大质量116t | 对流式蒸汽加热器的束铁和蛇形管 | 桥式起重机架，重14t | 润滑设备零、部件，重282kg | 穿孔机的机架，重15.96kg | 自行车零、部件，重3.257kg |
| 产生类型 | 大批 | 成批 | | 大批 | | 成批 | 小批 | 小批 | 成批 | | | | | 大批 |
| 涂层等级 | Ⅳ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅱ | Ⅳ | Ⅱ | | Ⅳ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅲ | | Ⅱ | Ⅱ |
| 涂装方法 | 喷涂 | | | 电泳涂装，静电喷涂 | | 喷涂 | | | | 喷淋 | | 空气喷涂 | 静电喷涂 | |
| | 静电喷涂 | 空气喷涂和无空气喷涂 | 无空气喷涂 | | | 空气喷涂 | 无空气喷涂 | 无空气喷涂和空气喷涂 | | | | | 固定和手动 | 带空气喷涂补涂 |
| 年产量（每平方米车间总面积）/(t/m²) | 41.1 | 5.0 | 37.7 | 1.7 | 9.97 | 14.7 | 10.7 | 6.1 | 12.8 | 8.6 | 11.2 | 6.4 | 1.06 | 0.4 |
| 年产量（每一生产工人）/(t/人) | 9050 | 340 | 825 | 167.7 | 1767 | 1450 | 8550 | 1340 | 895 | 1590 | 5250 | 675 | 33.0 | 38.3 |
| 每一生产工人涂装面积/(m²/人) | 104000 | 725 | 6500 | 31000 | 97900 | 6880 | 2160 | 19500 | 4930 | 47500 | 122000 | 16400 | 4332 | 6200 |
| 每吨产品涂装面积/(m²/t) | 11.5 | 21.5 | 8.0 | 175.3 | 55.0 | 4.75 | 2.53 | 14.5 | 5.6 | 30.0 | 14.5 | 24.0 | 132.0 | 162.0 |
| 劳动量　每吨涂装产品劳动量/(h/t) | 0.18 | 4.95 | 2.14 | 11.7 | 0.7 | 1.23 | 2.13 | 0.77 | 1.83 | 1.1 | 0.19 | 2.58 | 54.2 | 42.0 |
| 劳动量　每平方米涂装面积劳动量/(h/m²) | 0.015 | 0.23 | 0.27 | 0.06 | 0.019 | 0.258 | 0.84 | 0.053 | 0.33 | 0.038 | 0.009 | 0.106 | 0.41 | 0.259 |

注：Ⅰ—外观无缺陷；Ⅱ—有个别不太明显的微粒、补修痕迹；Ⅲ—有个别明显的微粒、补修痕迹、划痕及预处理有关的涂膜表面不均匀性；Ⅳ—表面涂色不均匀和其他明显的缺陷，但不影响保护性能。

5）板材、型材，如果图样尺寸超过材料规格，可以拼接，但要保证连接质量。烘干室、喷涂室的设备面板不允许拼接，其面板组装偏差应满足图样要求或相关标准规定。

6）烘干室内壁板与骨架的连接采取焊接。

7）传动机构应符合设计规定的性能要求：传动平稳不打滑，无不正常的噪声，不得跑偏；气动的运动部件不得有爬行、跳动和冲击现象。

8）钢结构设备经检查合格后，进行除锈、涂装。安装后被覆盖的型钢和钢板表面，应事先除锈和涂装。除锈等级、涂料品种与施工涂膜厚度应满足设计图样要求。一般性涂层厚度约为 100μm，防护性涂层厚度在 150～250μm 之间，其中防锈底漆厚度应在 30～40μm 以上。

## 12.5 涂装车间管理

### 12.5.1 如何管理涂装车间的原材料?

1. 原材料的选择

充分运用市场机制和各种信息手段，对原材料的生产制造厂或产品供应商进行选择，并对其能力进行评估。

根据质量指标、市场价格，筛选出能够满足本厂产品质量要求的供应商。

依据国际标准、国家标准或行业标准作为质量检查标准和依据，对样板进行检验，并引入竞争机制，优选出质量好、价格适宜的涂装原材料。

2. 原材料的质量管理

涂装原材料的质量指的是材料的内在质量和施工工艺性能。在选择原材料时，对选定的供应商供应的原材料必须按其技术条件和质量指标按批取样检验；对质量稳定或信得过的原材料供应商可抽检。

通过检验，对原材料中发现的问题，采取必要的工艺措施，做到按质使用，以防生产秩序、产品质量被破坏。同时，检验结果和记录也是向供应商索赔的依据。使用过程中，应经常检测原材料的消耗和各项技术指标。

3. 原材料的贮运和领用

原材料在贮运和领用时要注意以下几点：

1）不允许露天存放涂装原材料，严禁用敞口容器贮存或运输涂装原材料，容器应密封良好。

2）涂装原材料应贮存在温度 5～30℃以下，通风良好、无阳光直接照射的室内。

3）尽量缩短原材料的贮存期，做到统筹规划，现来现用。超过贮存期或在贮存期内发现有异常现象的原材料经复验后按质处理或使用。

4）涂装原材料贮存场地应严禁烟火，注意防火。

4. 涂料的调制

涂料必须加入一定量的稀释剂调整到施工粘度才能使用。涂料在调制时按以下步骤进行：

1）核对涂料名称、批号、生产厂和出厂日期。

2）在开桶前，擦净涂料桶的外壁，严防开桶时灰尘和杂物落入桶中。

3）开桶，观察桶中的原材料状态，不应有结皮、结块、凝胶现象，沉淀物能搅起，如果有结皮应除掉。

4）将原材料搅匀后倒入调漆罐中，加入规定的一定量的稀释剂调整到工艺要求的施工粘度，每次调漆时都应将桶刷干净。

5）施工时，应将调好的涂料以相应的筛网过滤。

6）应在规定时间内用完调配好的涂料。

5. 原材料的使用

在涂装生产中，原材料的使用应严格依照工艺规定进行。

1）严格按作业指导书调配、使用。

2）涂装预处理槽的原材料应按每班的消耗量均衡加入，确保槽中各工艺参数的稳定。

3）有些涂料使用前有熟化期，如电泳涂料的使用应提前 1 ~ 2h 进行稀释熟化后才能加入电泳槽中；双组分聚氨酯涂料是按其要求调配好后，静置 30min，待涂料液中的气泡消失后使用等。

4）将涂料稀释到工艺要求的施工粘度时，必须选择与其配套的稀释剂，否则会影响涂层质量，甚至引起涂料的变质。

5）对产品进行监督并及时向生产厂家反馈信息。

### 12.5.2　如何管理涂装车间的设备？

涂装设备及工具是否处于良好技术状态，是确保正常涂装生产秩序和涂装质量的关键。所以必须管理好每台设备，使其发挥最大效用，为此必须有健全的规章制度，其内容包括以下几项：

1）精密设备必须按照设备自身的技术要求，安排适宜的工作环境。

2）操作者必须具有较高的素质和操作技能，必要时应进行技能培训。

3）关键设备必须有操作规程，包括启动、运转和关闭等操作顺序、注意事项及技术状态优良的标准等。

4）大型设备或精密设备（如自动喷涂机等）应有专人负责，每班均应按照技术要求定期检查设备运转状况，并做好记录。

5）注意各种泵、风机、电动机、整流器等的运转状况和烘干室的温度、加热设备是否正常，发现问题及时检修，并做好记录。

6）应编制关键设备的检修和保养计划，做到定期检修和保养。

### 12.5.3　如何进行现场管理？

涂装现场的整齐、清洁是达到优质涂装的必要条件。大部分涂装车间（如现代化的汽车涂装车间、农用车涂装车间）多采用多品种大量混流的生产方式，现场的管理质量关系到涂装质量、成本和安全等方面。

现代化的涂装车间应按精益生产方式及 3S 或 5S 现场管理方法来组织生产和加强现场管理。

3S 现场管理指整理、整顿、清扫；5S 现场管理指在 3S 的基础上加上清洁和素养。其内容见表 12-32。

**表 12-32　现场管理的内容**

| 项目 | 内　容 | 项目 | 内　容 |
|---|---|---|---|
| 整理 | 整理现场，去掉不必要的东西 | 清洁 | 保持现场整洁、无灰尘 |
| 整顿 | 现场所需的东西要定置管理 | 素养 | 提高全员的责任心和素质修养 |
| 清扫 | 把生产现场打扫得干干净净 | | |

### 12.5.4　涂装工厂安全卫生的有关法规和标准有哪些？

为推动和加强安全卫生技术的发展，1982 年 8 月，我国公布了《劳动卫生安全草案》，它的贯彻实施，对于推动和加强涂装安全技术具有极大的促进作用。1988 年成立了全国涂装作业安全标准化技术委员会，负责涂装安全标 7B 的制定和实施，先后制定了一系列的涂装作业安全规程的国家标准，见表 12-33。从此涂装作业安全标准化正式纳入我国标准化工作系列。

**表 12-33　涂装作业安全标准**

| 序号 | 现　行　标　准 |
|---|---|
| 1 | GB 6514—2008《涂装作业安全规程　涂漆工艺安全及其通风净化》 |
| 2 | GB 7691—2003《涂装作业安全规程　安全管理通则》 |
| 3 | GB 7692—2012《涂装作业安全规程　涂漆前处理工艺安全及其通风净化》 |
| 4 | GB 12367—2006《涂装作业安全规程　静电喷涂工艺安全》 |
| 5 | GB 12942—2006《涂装作业安全规程　有限空间作业安全技术要求》 |
| 6 | GB/T 14441—2008《涂装作业安全规程　术语》 |
| 7 | GB 14443—2007《涂装作业安全规程　涂层烘干室安全技术规定》 |
| 8 | GB 14444—2008《涂装作业安全规程　喷漆室安全技术规定》 |
| 9 | GB 14773—2007《涂装作业安全规程　静电喷枪及其辅助装置安全技术条件》 |
| 10 | GB 15607—2008《涂装作业安全规程　粉末静电喷涂工艺安全》 |

# 参 考 文 献


［1］ 李国英. 表面工程手册［M］. 北京：机械工业出版社，2004.
［2］ 陈治良. 现代涂装手册［M］. 北京：化学工业出版社，2010.
［3］ 叶扬祥，等. 涂装技术实用手册［M］. 2 版. 北京：机械工业出版社，2003.
［4］ 潘肇基. 涂装技术实用手册［M］. 北京：机械工业出版社，2003.
［5］ 张学敏. 涂装工艺学［M］. 2 版. 北京：化学工业出版社，2007.
［6］ 曹京宜. 实用涂装基础及技巧［M］. 2 版. 北京：化学工业出版社，2008.
［7］ 宣天鹏. 表面工程技术的设计与选择［M］. 北京：机械工业出版社，2011.
［8］ 机械工业职业教育研究中心. 涂装工技能实战训练：入门版［M］. 2 版. 北京：机械工业出版社，2004.
［9］ 李金桂. 防腐蚀表面工程技术［M］. 北京：化学工业出版社，2003.
［10］ 庄光山，等. 金属表面涂装技术［M］. 北京：化学工业出版社，2010.
［11］ 邵敏光. 涂装工基本技能［M］. 北京：中国劳动社会保障出版社，2009.
［12］ 冯立明，牛玉超，张殿平，等. 涂装工艺与设备［M］. 北京：化学工业出版社，2004.
［13］ 林鸣玉，王路路. 简明涂装工手册［M］. 北京：机械工业出版社，2000.
［14］ 李慕勤，李俊刚，吕迎. 材料表面工程技术［M］. 北京：化学工业出版社，2010.
［15］ 陈素平，杜方彦. 涂料与涂装疵病分析［M］. 北京：中国纺织出版社，2007.
［16］ 李丽. 涂料生产与涂装工艺［M］. 北京：化学工业出版社，2007.
［17］ 张俊智. 粉末涂料与涂装工艺学［M］. 北京：化学工业出版社，2008.
［18］ 刘宪文. 电泳涂料与涂装［M］. 北京：化学工业出版社，2007.
［19］ 马绍芝. 涂料涂装入门 600 问［M］. 北京：中国纺织出版社，2011.
［20］ 郑顺兴. 涂料与涂装科学基础［M］. 北京：化学工业出版社，2007.
［21］ 李正仁，李锐，杨涛. 金属表面粉末涂装［M］. 北京：化学工业出版社，2009.
［22］ 吴复宇. 涂装工艺与设备［M］. 北京：高等教育出版社，2006.
［23］ 周荣记，黄振浓. 涂装疑难解答［M］. 北京：中国纺织出版社，2009.
［24］ 庄光山. 金属表面涂装技术［M］. 北京：化学工业出版社，2010.
［25］ 邵敏光. 涂装工基本技能［M］. 北京：中国劳动社会保障出版社，2009.

## 机械工业出版社现有表面工程书目(部分)

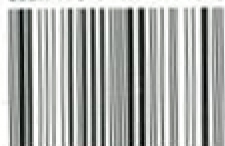
| 书号 | 书名 | 定价/元 |
|---|---|---|
| 11897 | 涂装技术实用手册(第2版) | 85.00 |
| 07772 | 现代表面工程技术 | 38.00 |
| 01898 | 现代表面技术 | 28.00 |
| 22587 | 材料表面功能镀覆层及其应用 | 48.00 |
| 21512 | 电镀技术与应用 | 40.00 |
| 17478 | 热喷涂技术与应用 | 33.00 |
| 21000 | 涂装技术与应用 | 45.00 |
| 18093 | 热浸镀技术与应用 | 25.00 |
| 26177 | 实用磷化及相关技术 | 42.00 |
| 19620 | 电镀技术问题对策 | 35.00 |
| 18896 | 表面工程技术工艺方法400种 | 25.00 |
| 20065 | 气相沉积应用技术 | 38.00 |
| 27595 | 电镀工程手册 | 79.00 |
| 29532 | 实用镀锌技术 | 42.00 |
| 30880 | 电镀实用工艺守则 | 45.00 |
| 31941 | 电镀技术1000问 | 59.00 |
| 33391 | 表面工程技术的设计与选择 | 56.00 |
| 34873 | 电镀工技能提高必读 | 49.00 |
| 37216 | 表面镀覆层失效分析与检测技术 | 52.00 |
| 37553 | 涂装工入门必读 | 29.00 |
| 39797 | 涂装工技能提高必读 | 39.00 |
| 39692 | 涂装工程安全技术 | 48.00 |

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术/机械工程/表面技术

ISBN 978-7-111-40868-0

策划编辑◎陈保华




定价：79.00元